

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность  
Отделение контроля и диагностики

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы	
<b>Алгоритм оценки климато-экологических параметров окружающей среды Евразии</b>	
УДК 504.3:551.583-047.43(4/5)	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Плотникова Вероника Викторовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волков Ю.В.	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данков А. Г.	К.И.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Ю.А.	К.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2018 г.

## Результаты обучения образовательной программы по направлению 20.04.01 Техносферная безопасность

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Использовать на основе <i>глубоких и принципиальных</i> знаний необходимое оборудование, инструменты, технологии, методы и средства обеспечения безопасности человека и окружающей среды от техногенных и антропогенных воздействий в условиях <i>жестких</i> экономических, экологических, социальных и других ограничений	Требования ФГОС (ПК-3–7; ОПК-1–3, 5; ОК-4–6) <sup>1</sup> , Критерий 5 АИОР <sup>2</sup> (пп.5.2.1, 5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Проводить <i>инновационные</i> инженерные исследования опасных природных и техногенных процессов и систем защиты от них, включая <i>критический анализ данных из мировых информационных ресурсов, формулировку выводов в условиях неоднозначности</i> с применением <i>глубоких и принципиальных</i> знаний и <i>оригинальных</i> методов в области современных информационных технологий, современной измерительной техники и методов измерения.	Требования ФГОС (ПК-8–13; ОПК-1–3, 5; ОК-4, 9, 10, 11, 12), критерии АИОР Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.2, 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Организовывать и руководить деятельностью подразделений по защите среды обитания и безопасному размещению и применению технических средств в регионах, осуществлять взаимодействие с государственными службами в области экологической, производственной, пожарной безопасности, защиты в чрезвычайных ситуациях, находить и принимать управленческие решения с соблюдением профессиональной этики и норм ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов в области техносферной безопасности	Требования ФГОС (ПК-4, 6, 14–18; ОПК-1–5; ОК-1, 7, 8), Критерий 5 АИОР (пп.5.2.5, 5.3.1–2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Организовывать мониторинг в техносфере, составлять краткосрочные и долгосрочные прогнозы развития ситуации на основе его результатов с использованием <i>глубоких фундаментальных и специальных</i> знаний, аналитических методов и <i>сложных</i> моделей <i>в условиях неопределенности</i> , анализировать и оценивать потенциальную опасность объектов экономики для человека и среды обитания и разрабатывать рекомендации по повышению уровня безопасности	Требования ФГОС (ПК-2, 19, 21, 22; ОПК-1–5; ОК-2), Критерий 5 АИОР (п.5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить экспертизу безопасности и экологичности технических проектов, производств, промышленных предприятий и территориально-производственных	Требования ФГОС (ПК-20, 23–25; ОПК-1–3, 5),

<sup>1</sup> Указаны коды компетенций по ФГОС ВО (направление 20.04.01 – Техносферная безопасность).

<sup>2</sup> Критерии АИОР (Ассоциации инженерного образования России) согласованы с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

	комплексов, аудит систем безопасности, осуществлять мероприятия по надзору и контролю на объекте экономики, территории в соответствии с действующей нормативно-правовой базой	Критерий 5 АИОР (пп.5.2.5–6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P6	Работать в интернациональной профессиональной среде, включая разработку документации, презентацию и защиту результатов <i>инновационной инженерной деятельности с использованием иностранного языка</i>	Требования ФГОС (ОК-5, 6, 10–12; ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п.5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Эффективно работать индивидуально, а также в качестве <i>руководителя группы</i> с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области техносферной безопасности, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам, понимать необходимость и уметь <i>самостоятельно учиться</i> и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1-3, 5, 8, 11, 12, ОПК 1-4, ПК-18) Критерий 5 АИОР (пп.5.3.3–6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность  
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:  
20.04.01 Техносферная безопасность  
\_\_\_\_\_ В.А. Перминов  
05.02.2018 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1ЕМ61	Плотникова Вероника Викторовна

Тема работы:

**Алгоритм оценки климато-экологических параметров окружающей среды Евразии**

Утверждена приказом директора (дата, номер) 02.02.2018 №616/с

Срок сдачи студентом выполненной работы: 04.06.2018 г.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Объектом исследования является алгоритм кластеризации температурных данных</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Обзор методов изучения и моделирования климата.</li> <li>2) Алгоритм оценки климато-экологических параметров окружающей среды.</li> <li>3) Проведение численного эксперимента по исследованию алгоритма климатической группировки с использованием математической модели.</li> <li>4) Результаты натурного эксперимента.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)</p>	
<p><b>Раздел</b> Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p><b>Консультант</b> Доцент ОСНГ ШБИП ТПУ Данков Артем Георгиевич</p>

Социальная ответственность	Доцент ОКД ИШНКБ ТПУ Амелькович Юлия Александровна
Раздел магистерской диссертации, выполненный на иностранном языке	Старший преподаватель ОИЯ ШБИП Демьяненко Нататалья Владимировна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
1. Литературный обзор (1. Literature review)	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	05.02.2018 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волков Юрий Викторович	к.т.н.		05.02.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Плотникова Вероника Викторовна		05.02.2018

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность  
Уровень образования магистр  
Отделение контроля и диагностики  
Период выполнения весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.18
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.03.2018 г.	Постановка задач, определение этапов и сроков работ	10
26.03.2018 г.	Разработка и исследование алгоритма для оценки климато-экологических параметров окружающей среды	20
09.04.2018 г.	Проведение численного и натурных экспериментов по исследованию алгоритма	25
23.04.2018 г.	Анализ полученных результатов	15
07.05.2018 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
21.05.2018 г.	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волков Юрий Викторович	к.т.н.		05.02.2018

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		05.02.2018

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1ЕМ61	Плотниковой Веронике Викторовне

<b>Институт</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение</b>	контроля и диагностики
<b>Уровень образования</b>	<b>магистр</b>	<b>Направление/специальность</b>	техносферная безопасность

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Вычислены материально-технические, финансовые, информационные и человеческие затраты
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы и нормативы по заработной плате исполнителей темы: коэффициенты доп. Зарплатной платы 12% от основной, премиальный коэффициент – 0.3, коэффициент доплат и надбавок – 0.2, районный коэффициент для Томска – 1.3. Коэффициент накладных расходов 0.8.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставка отчислений на уплату во внебюджетные фонды – 30%

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Перспективность данной разработки выше среднего. Проект нуждается в разработке бизнес-плана проекта, стоит вопрос об авторских правах и их защите.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Представлен детальный календарный план проекта с указанием исполнителей и их ролей
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Представлена структура и календарный план-график проведения НИ, рассчитан его бюджет и проведена оценка рисков.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Функционально-стоимостная диаграмма
4. Матрица SWOT-анализа
5. Диаграмма Исикавы
6. Календарный план-график
7. Организационная структура проекта

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Данков Артем Георгиевич	к.и.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1ЕМ61	Плотникова Вероника Викторовна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1ЕМ61	Плотникова Вероника Викторовна

<b>Институт</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение</b>	контроля и диагностики
<b>Уровень образования</b>	<b>магистр</b>	<b>Направление/специальность</b>	техносферная безопасность

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является алгоритм кластеризации температурных данных. Рабочим местом для проведения исследования является кабинет с персональным компьютером.
--	---

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</li> </ul>	<p>Выявлены следующие вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенная пульсация светового потока.</li> <li>2. Повышенный уровень электромагнитных излучений.</li> <li>3. Умственное перенапряжение.</li> <li>4. Показатели микроклимата.</li> <li>5. Шум.</li> <li>6. Освещение.</li> </ol>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>Проведен анализ воздействия объекта исследования на атмосферу, гидросферу и литосферу.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и</li> </ul>	<p>Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией является пожар.</p>



<p>эксплуатации проектируемого решения;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Правовые вопросы обеспечения безопасности согласно ТК РФ и организационные мероприятия при компоновке рабочего места с ПЭВМ.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Амелькович Ю.А	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Плотникова В.В.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 112 с., 8 рис., 23 табл., 50 источников, 1 прил.

Ключевые слова: анализ сигналов, температурные сигналы, аналитический сигнал, классификация климата, климатическая кластеризация.

Объектом исследования является алгоритм оценки климато-экологических параметров окружающей среды.

Цель работы – разработка алгоритма оценки климато-экологических параметров окружающей среды.

В процессе исследования проводились разработка и исследования алгоритма для оценки климато-экологических параметров, численный и натурный эксперименты по исследованию алгоритма климатической группировки с использованием математической модели.

В результате исследования разработан алгоритм для оценки климато-экологических параметров окружающей среды.

Экономическая значимость работы заключается в возможности создания основ мониторинга качественных изменений в климатической системе.

## СОКРАЩЕНИЯ

**РКМ** – трехмерные региональные климатические модели

**МОЦА** – модель общей циркуляции атмосферы

**МОЦАО** – модель общей циркуляции атмосферы и океана

**МГЭИК** – межправительственная группа экспертов по изменению климата

**ТПО** – температура поверхности океана

**СКО** – средне-квадратичное отклонение

**БПФ** – быстрое преобразование Фурье

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	15
1 обзор методов изучения и моделирования климата .....	17
1.1 Климат и погода .....	20
1.2 Естественный и антропогенный вклад в изменение климата.....	21
1.3 Климатическая система .....	23
1.4 Прогнозирование изменений климата .....	24
1.5 Математические модели изменения климата.....	28
1.6 Недостатки глобальных математических моделей .....	32
1.7 Методы группировки – реанализ данных.....	34
1.8 Кластерный анализ .....	36
2 Алгоритм оценки климато-экологических параметров окружающей среды	38
2.1 Математическое описание и построение модели температурных колебаний .....	38
2.2 Пример построения модельной функции .....	38
2.3 Предварительный анализ данных наблюдений.....	40
2.4 Аналитический сигнал.....	41
2.5 Алгоритм классификации температурных сигналов .....	44
3 Проведение численного эксперимента по исследованию алгоритма климатической группировки с использованием математической модели.....	48
3.1 Замкнутый численный эксперимент .....	48
4 Результаты натурного эксперимента .....	51
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	54
5.1 Предпроектный анализ .....	54
5.1.1 Потенциальные потребители исследования.....	54
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	54
5.1.3 FAST-анализ.....	55
5.1.4 SWOT-анализ .....	59

5.2	Контрольные события проекта.....	61
5.3	План проекта .....	61
5.4	Бюджет научного исследования.....	64
5.4.1	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов) .....	64
5.4.2	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	64
5.4.3	Основная заработная плата .....	65
5.4.4	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала .....	67
5.4.5	Отчисление на социальные нужды.....	68
5.4.6	Накладные расходы .....	69
	Заключение .....	71
6	Социальная ответственность .....	72
	Введение .....	72
6.1	Профессиональная социальная безопасность .....	72
6.1.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований .....	73
6.1.2	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных факторов. ....	79
6.2	Экологическая безопасность .....	80
6.2.1	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....	80
6.2.2	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды .....	80
6.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	81
6.3.1	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований .....	81
6.3.2	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС.....	82
6.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	83

6.4.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны)	
правовые нормы трудового законодательства .....	83
6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	84
Заключение.....	87
Список публикаций студента .....	88
Список используемых источников.....	89
Приложение А .....	95

## ВВЕДЕНИЕ

Среди глобальных экологических проблем современности, одно из первых мест занимает проблема изменения климата. Глобальный климат – это сложная система, в которой постепенное накопление количественных изменений может привести к непредсказуемым последствиям.

Климат планеты является совокупностью состояний климатической системы, характерных достаточно большому промежутку времени. Он проявляется в закономерной смене погод в наблюдаемой местности. Основными показателями климата являются: температура воздуха, преобладающее направление ветров, годовое количество осадков.

Актуальность изучения климатических изменений заключается в следующем, во-первых, из-за изменений температуры может произойти сдвиг климатических поясов, что в свою очередь приведет к резкой смене погоды. Увеличится частота и сила аномальных погодных явлений. Также в связи с изменением температуры изменяется и влажность воздуха, что может послужить причиной появления территорий непригодных для жизни людей. Из-за стремительного изменения климатических условий многие экосистемы, виды живых существ, которые в них входят, станут менее разнообразными. Существуют прогнозы исчезновения до 30 – 40 % видов растений и животных, поскольку их среда обитания будет изменяться быстрее, чем они смогут приспособиться к этим изменениям. По словам экспертов ООН, повышение температуры может привести к продовольственной проблеме, а именно, из-за снижения урожайности. Другим из важных последствий климатических изменений может стать нехватка питьевой воды.

Актуальной остается задача совершенствования моделей, которые способны описывать процессы изменения климата, а также моделей, позволяющих получать новые характеристики, являющихся отражением физических процессов, которые происходят в климатической системе.

Целью данной магистерской диссертации является разработка способа оценки климато-экологических параметров окружающей среды Евразии.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Создать алгоритм кластеризации климато-экологических параметров.
2. Провести численное исследование алгоритма кластеризации.
3. Построить карты регионального распределения на основе данных о приземной температуре.



# 1 ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ КЛИМАТА

Процесс переноса энергии от одного тела к другому с помощью электромагнитного излучения называется лучистым теплообменом [1].

Лучистая энергия представляет собой энергию электромагнитных колебаний с различными длинами волн, которые исходят от тела и распространяются в вакууме со скоростью света  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с. Обычно рассматривается тепловое излучение, которому соответствуют длины волн от 0,4 до 40 мк. [2].

При попадании лучистой энергии на какое-либо тело лишь часть этой энергии поглощается; другая ее часть отражается, а некоторая часть проходит сквозь тело. Тела, которые поглощают всю падающую на них лучистую энергию, называются абсолютно черными. Тела, которые полностью отражают падающую на них лучистую энергию, называются абсолютно белыми, а тела, пропускающие всю падающую на них энергию, – абсолютно прозрачными. Абсолютно черных, белых и прозрачных тел в природе не существует.

Поглощение и отражение лучистой энергии твердыми телами в значительной степени зависит от состояния их поверхности: гладкие и полированные поверхности обладают высокой отражательной способностью; шероховатые поверхности, наоборот, обладают высокой поглощательной способностью.

Излучение тел различно. Оно зависит от природы тела, температуры, состояния поверхности. Большинство встречающихся в природе и технике твердых и жидких тел имеет значительную поглощательную и излучательную способность. Вследствие этого в процессах лучистого теплообмена участвуют лишь тонкие поверхностные слои [1].

Интенсивность теплопередачи путем теплопроводности и конвекции пропорциональна температуре, а лучистый тепловой поток пропорционален четвертой степени температуры и подчиняется закону Стефана – Больцмана

$$q = \sigma A(T_1^4 - T_2^4), \quad (1.1)$$

где  $q$  – тепловой поток (в джоулях в секунду, т.е. в Вт),  $A$  – площадь поверхности излучающего тела (в м<sup>2</sup>), а  $T_1$  и  $T_2$  – температуры (в кельвинах) излучающего тела и окружения, поглощающего это излучение. Коэффициент  $\sigma$  называется постоянной Стефана – Больцмана и равен  $(5,66961 \cdot 0,00096) \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> ΔK<sup>4</sup>) [1].

Представленный закон теплового излучения справедлив лишь для идеального излучателя – абсолютно черного тела [1]. Ни одно тело таковым не является, хотя плоская черная поверхность по своим свойствам приближается к абсолютно черному телу. Светлые же поверхности излучают сравнительно слабо. Чтобы учесть отклонение от идеальности многочисленных «серых» тел, в правую часть выражения, описывающего закон Стефана – Больцмана, вводят коэффициент, меньший единицы, который называется излучательной способностью.

Мощным излучателем тепловой энергии является Солнце; оно нагревает Землю даже на расстоянии 150 млн. км. Интенсивность солнечного излучения, в результате преобразования энергии, регистрируется метеорологическими станциями, которые расположены по всему земному шару. Солнечная энергия оказывает глобальное воздействие на процессы, происходящие на Земле, формирующие погоду и климат, и является источником существования жизни.

В любом месте Земли погода изменяется в разные годы по-разному. Однако при всех различиях отдельных дней, месяцев и лет каждую местность можно охарактеризовать вполне определённым климатом. Под локальным климатом понимается совокупность атмосферных условий за многолетний период, который присущ данной местности в зависимости от ее географической обстановки. Под географической обстановкой понимается не только положение местности (широта, долгота и высота над уровнем моря), но и характер земной поверхности, орография, почвенный покров и др. Атмосферные условия, которые определяют климат каждого места, испытывают периодические

изменения в годовом ходе – от зимы к лету и от лета к зиме. Кроме периодических изменений совокупность атмосферных условий несколько изменяется от года к году. Это – межгодовая изменчивость атмосферных условий [1, 2].

Солнечная энергия является практически единственным источником энергии для земной поверхности и атмосферы. Именно энергия Солнца превращается в атмосфере и на земной поверхности в теплоту, она же служит источником энергии атмосферных движений и превращается в другие виды энергии.

Существуют три основных цикла атмосферных процессов, которые участвуют в формировании погоды и определяют климат. Это так называемые климатообразующие процессы – теплооборот, влагооборот и атмосферная циркуляция [1].

Термин «теплооборот» описывает сложные процессы получения, передачи, переноса и потери тепла в системе «земля–атмосфера». Поток солнечной радиации, идущий от Солнца к Земле, частично отражается воздухом, облаками и примесями назад в мировое пространство. Эта энергия безвозвратно теряется для Земли. Другая часть проходит сквозь атмосферу. Атмосфера частично и в сравнительно небольшой степени поглощает солнечную радиацию, преобразуя ее в теплоту, частично рассеивает ее, изменяя спектральный состав.

Прямая солнечная радиация, прошедшая сквозь атмосферу, и рассеянная радиация, падая на земную поверхность, частично от нее отражаются, но в большей части поглощаются ею и нагревают верхние слои почвы и водоемов. Земная поверхность сама испускает невидимую инфракрасную радиацию, которую в большей части поглощает атмосфера, и нагревается. В то же время земная и атмосферная радиации непрерывно излучаются в мировое пространство и вместе с отраженной солнечной радиацией уравнивают приток солнечной радиации к Земле.

С другой частью лучистой энергии, попавшей в атмосферу, происходит целый ряд превращений, результатом которых является нагревание земной поверхности и атмосферы [1].

Часть солнечной радиации представляет собой видимый свет. Тем самым Солнце является для Земли источником не только тепла, но и света, важного для жизни на нашей планете.

Лучистая энергия Солнца превращается в тепло частично в самой атмосфере, но главным образом на земной поверхности.

## **1.1 Климат и погода**

В практике часто под климатом понимаются некоторые характеристики части траектории климатической системы, который проходит за определенный промежуток времени.

Климат зонален [3]. В зависимости от температурных условий, преобладающих воздушных масс и ветров выделяют климатические пояса. В основном, климат определяется поступлением лучистой энергии Солнца на подстилающую поверхность и в атмосферу, а также различиями, обусловленными распределением суши и океана. Климатообразующие факторы подразделяют на ведущие и ведомые. К ведущим относят радиационный и циркуляционный факторы, а к ведомым – орографический и характер подстилающей поверхности.

Погода и климат взаимосвязаны. В атмосфере протекают многообразные физические процессы, которые непрерывно изменяют ее состояние. Физическое состояние атмосферы у земной поверхности и в нижних 30–40 км в данный момент времени называется погодой [1]. Погода характеризуется такими метеорологическими величинами как температура, давление, влажность воздуха, ветер, облачность, атмосферные осадки. Главные причины изменчивости погоды – изменение количества солнечного тепла, которое получается в течение суток и в течение года, перемещение воздушных масс, циклонов и антициклонов.

Атмосферные осадки – это то количество воды в жидкой или твердой форме, выпадающей на поверхность Земли.

Температура воздуха измеряется на метеорологических станциях несколько раз в день, после чего выводится среднесуточная, среднемесячная или среднегодовая температуры. Среднесуточная температура представляет собой среднее арифметическое температур, замеренных в течение суток через равные промежутки времени. Среднемесячная температура – среднее арифметическое всех среднесуточных температур в течение месяца, среднегодовая – среднее арифметическое всех среднесуточных температур в течение года. Так как любые сильные температурные колебания нивелируются при усреднении, следовательно, средние температуры в одной местности в течение каждого месяца и года остаются приблизительно постоянными. Повышение средней температуры на несколько десятых градусов оказывает значительное воздействие на климат, так как вместе с температурой изменяются и все остальные элементы погоды.

Относительная влажность показывает процентное отношение количества водяных паров в воздухе к тому количеству, которое находится в воздухе при насыщении.

Окружающая нас среда непрерывно меняется. Изменяется и климат, и прежде всего температура, осадки, их внутригодовое распределение. Это связано с существенными изменениями климатообразующих факторов.

## **1.2 Естественный и антропогенный вклад в изменение климата**

Из вышесказанного следует, что в последние десятилетия климат изменяется и с нарастающей скоростью. Однако вопрос о причинах современного глобального потепления является решенным не до конца. Последние десятилетия значительный вклад в изменения вносит антропогенное воздействие. Прежде всего, к нему относится сжигание ископаемого топлива, которое приводит к изменению концентрации углекислого газа в атмосфере,

вырубка лесов, приводящая к изменению альбедо и процессу опустыниванию, и многие другие воздействия.

Климатологи, в своих исследованиях, связывают это с антропогенным воздействием на окружающую среду, а именно из-за роста концентрации  $\text{CO}_2$ , метана и других парниковых газов в атмосфере. Накопление парниковых газов в атмосфере приводит к поглощению инфракрасного теплового излучения с поверхности Земли, нагреваемой солнечной энергией. Главным вкладчиком в климатические изменения является интенсификация человеческой деятельности, в первую очередь сжигание ископаемого топлива и изменение землепользования. Данные процессы изменяют концентрацию газов и аэрозолей, составляющих атмосферу, которые поглощают или рассеивают радиационную энергию. Можно сказать, что именно накопление парниковых газов в атмосфере определило повышение среднеглобальной температуры на  $0.6^\circ\text{C}$  [2].

Из всех парниковых газов наибольшее влияние на климат оказывает рост концентрации  $\text{CO}_2$  при сжигании различных видов топлива. Углекислый газ заметно ослабляет уходящее длинноволновое излучение, что создает парниковый эффект в атмосфере. Также существует природный углекислый газ, который возникает при извержениях вулканов. Половину количества выбросов углекислого газа поглощают океаны и суша. Кроме углекислого газа, к парниковым газам также стоит отнести и метан. Поступление данного газа обусловлено поверхностными и подводными извержениями вулканов; озерно-болотными системами; процессами добычи нефти и газа; сельскохозяйственной деятельностью человека. Способность метана поглощать инфракрасное излучение в 21 раз выше, чем у углекислого газа, и, следовательно, учет роста его концентрации чрезвычайно важен.

Однако не стоит основывать объяснение нынешних и будущих изменений климата только антропогенным фактором.

Также в истории Земли известны и естественные изменения климата, которые происходили под действием изменения орбиты Земли, потока

солнечной энергии, наличие в атмосфере парниковых газов, извержений вулканов и колебательных процессов в самой климатической системе.

К наиболее значимым проявлениям собственной изменчивости климатической системы Земли следует отнести такие явления, как ЭльНиньо – Южное колебание (ЭНЮК), СевероАтлантическое колебание, Арктическая осцилляция. Эти явления оказывают существенное влияние на текущее состояние атмосферы и океана и могут изменять свою интенсивность и повторяемость на фоне изменений климата.

В редких случаях встречается утверждение о полном отсутствие антропогенного влияния на климат, и также редко все изменения климата связывают с антропогенным воздействием. В большинстве случаев рассматривается комплекс природных и антропогенных факторов, которые определяют современное состояние климата.

### **1.3 Климатическая система**

Согласно определению, климатическую систему планеты образуют следующие взаимодействующие между собой компоненты: атмосфера – газовая оболочка Земли, которая воздействует на перенос солнечной радиации к поверхности Земли; океан – главный водный резервуар, состоящий из вод Мирового океана и прилегающих к нему морей, поглощает основную часть солнечной радиации, которая поступает на поверхность Земли; суша – поверхность континентов с ее гидрологической системой, почва и вечная мерзлота; криосфера – континентальные и морские льды, горные ледники и снежный покров; биосфера – растительность на суше и в океане, и также живые организмы, включая человека [3].

Математически климат определяется как статистическая совокупность состояний, принимаемая климатической системой за достаточно большой промежуток времени. Важными количественными показателями климатической системы служат приповерхностные характеристики атмосферы, такие как температура, влажность, осадки, ветер и т.д.

### ***Особенности климатической системы как физического объекта***

Климатическая система как физический объект обладает рядом специфических особенностей.

1. Главные компоненты системы – атмосфера и океан – с геометрических позиций можно рассматривать как тонкие пленки, поскольку отношение вертикального масштаба к горизонтальному составляет величину порядка 0.01 – 0.001. Таким образом, система квазидвумерна. Характерные временные масштабы энергетически значимых физических процессов лежат в диапазоне от 1 часа до десятков и сотен лет. Все это приводит к тому, что лабораторное моделирование такой системы крайне затруднительно [4].

2. С климатической системой невозможно поставить целенаправленный физический эксперимент. Для изучения климата реальной климатической системы в наличии имеется лишь часть данных протяженностью в несколько десятков лет, в течение которых проводилось достаточно полные натурные измерения. Мы можем оценить отличия состояний климатических параметров за разные промежутки времени в пределах, имеющихся данных [4].

3. В нашем распоряжении имеются лишь короткие ряды данных наблюдений, да и то лишь об отдельных компонентах климатической системы.

Однако, даже перечисленные выше позволяют сделать вывод, что главным средством исследования климатической системы является математическое моделирование.

#### **1.4 Прогнозирование изменений климата**

Если происходящие изменения климата имеют антропогенное происхождение, то они несомненно будут обостряться с увеличением антропогенной нагрузки совместно с развитием человечества. В связи с этим особое значение приобретает задача прогноза изменения климата на несколько десятилетий вперед. Для полного прогноза климата необходимо добавить прогноз естественных изменений климата, которые вносят свои коррективы.



Все предсказания изменений климата строятся на основе современных климатических моделей. Модель описывает климатическую систему, которая включает в себя атмосферу – океан – сушу – криосферу – биоту. Модель должна воспроизводить все характеристики состояния реальной климатической системы.

Модель не дает точного прогноза на будущие изменения климата, она позволяет произвести оценку возможных сценариев изменения климата [4].

Основной задачей исследования климатической системы является прогнозирование ее эволюции. Исходное состояние климатической системы не могут быть точно известны и в процессе прогнозирования вероятность ошибки увеличивается. Атмосфера является наиболее неустойчивой и быстро меняющимся компонентом системы. Поэтому прогноз ее эволюции от заданного начального состояния не может быть долгосрочным.

Для того чтобы произвести прогноз погоды, необходимо смоделировать динамику атмосферы и физических процессов, которые происходят. Моделирование климатической системы ограничено тем, что атмосфера хаотична. Получить полностью точное начальное состояние атмосферы невозможно, что является причиной исходного уровня неопределенности у всех моделей.

В основе всех климатических моделей лежат установленные физические законы. Климатические модели способны воспроизводить важные характерные особенности современного климата, а также климаты прошлого и их эволюцию во времени.

С помощью комплексных моделей климата могут быть получены достоверные оценки взаимосвязей данных компонентов климатической системы и прогноз изменений климата. Точность комплексной модели будет зависеть от точности локальных моделей.

В настоящее время, климатические модели интенсивно развиваются. В основе современных моделей климата лежит современная модель общей циркуляции атмосферы и океана, причем центральным направлением их

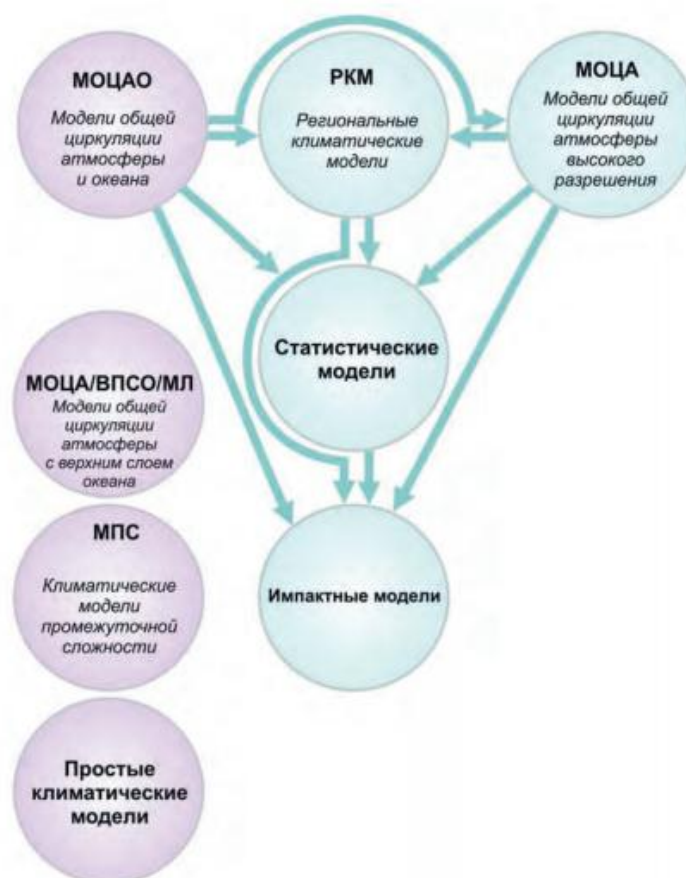
развития является все более точное описание всех физических процессов, которые участвуют в формировании климата.

Для того чтобы описание отклика климатической модели было правильным на малые внешние воздействия необходимо хорошо воспроизводить не только сам климат, но и вероятность перехода из одного состояния климатической системы в другое [5].

При построении современных моделей климата опираются на ряд принципов. Предполагается, что для описания динамики атмосферы и океана справедливы уравнения Навье – Стокса для сжимаемой жидкости [4]. В современных моделях используются уравнения Рейнольдса определенные по некоторым пространственным и временным масштабам уравнения Навье – Стокса, то считается, что существует принципиальная возможность их замыкания. Процедура замыкания предполагает, что эффекты процессов подсеточных масштабов могут быть выражены через характеристики процессов больших масштабов. К таким процессам относятся: перенос излучения; конвекция, турбулентность в пограничных слоях; волновое сопротивление; мелкомасштабная диссипация и диффузия; перенос тепла, влаги, метана и других газов в деятельном слое суши, в том числе при наличии водоемов [5].

В целом математическая реализация региональной модели практически не отличается от глобальной. Ее особенность заключается в необходимости постановки граничных условий, которые обеспечивают взаимодействие с глобальной моделью [6].

В многообразии климатических моделей, которые используются сегодня в исследованиях изменений климата выделяют следующие четыре класса: 1) простые климатические модели (двумерные, одномерные); 2) модели промежуточной сложности; 3) модели общей циркуляции атмосферы с упрощенными описаниями верхнего перемешанного слоя океана и морского льда; 4) сложные трехмерные модели совместной циркуляции атмосферы и океана, которые занимают высшую ступень в иерархии климатических моделей.



**Рисунок 1.1 – Иерархия современных климатических моделей**

Простые модели, у которых параметры подбираются в соответствии с расчетами климатических изменений с помощью МОЦАО, могут быть использованы, например, для оценки влияния выбросов парниковых газов в атмосферу на климат. Модели промежуточной сложности полезны в исследованиях отдельных физических процессов, их взаимодействий и обратных связей между ними. Главным преимуществом моделей, которые находятся на более низких уровнях иерархии, является их высокая вычислительная эффективность.

Современные МОЦАО включают в качестве основных компонентов интерактивные модели атмосферы, океана, деятельного слоя суши, криосферы и биосферы.

Трехмерные региональные модели (РКМ) имеют разрешение порядка 10 км и размеры модельной области до субконтинентальных. Эти модели повышают качество расчетов климата вследствие более реалистичного представления неоднородностей подстилающей поверхности. В зависимости от

поставленной задачи начальные условия задаются в виде полей атмосферных величин, рассчитанных в МОЦА либо полученных из реанализа. Обычно РКМ проходит сложную процедуру калибровки и тестирования, прежде чем она может быть применена для конкретного региона [7].

### **1.5 Математические модели изменения климата**

Немногие страны занимаются развитием собственных технологий моделирования климата глобальной атмосферы. На самом деле, физические процессы атмосферных явления являются достаточно сложными и до конца не изученными. Из-за ограниченности вычислительных ресурсов пространственное решение таких моделей недостаточно для полного описания некоторых процессов, поэтому процессы необходимо описывать параметрически, зная лишь характеристики атмосферы на масштабе характерного размера ячейки сетки [8].

В первых методах исследования климата лежит применение моделей общей циркуляции атмосферы, основанных на уравнениях Навье-Стокса, записанных в сферической системе координат с учетом неадиабатических процессов переноса энергии. Одна из первых глобальных климатических моделей была создана группой ученых в США. При помощи данной модели был выполнен численный эксперимент по оценке реакции климатической системы на изменение концентрации парниковых газов в атмосфере.

В дальнейшем климатические модели пополнялись блоками общей циркуляции океана, морского льда, гидрологии суши и фотохимических процессов в атмосфере [8].

В России глобальные модели климатической системы созданы и развиваются в Институте вычислительной математики РАН и Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова Росгидромета. При помощи данных моделей исследуют физические процессы формирования климата, оценивают вклад различных факторов, включая деятельность человека, в изменчивость и изменение современного климата.

По мере накопленных научных знаний, стали появляться мнения о том, что изменения климата в некоторых регионах могут иметь неблагоприятные последствия для населения, для природных и хозяйственных систем. Для подготовки научных докладов о наблюдаемых и ожидаемых изменениях климата, их возможных воздействиях на человека, природу и мировую экономику Всемирной метеорологической организацией совместно с Программой ООН по окружающей среде была организована Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). В деятельности МГЭИК участвуют 195 стран. Основным информационным продуктом МГЭИК являются оценочные доклады, которые издаются периодически (раз в 5-7 лет) и содержат обобщение данных о том, как меняется и будет меняться глобальный климат, каковы последствия этих изменений для природных и социально-экономических систем [9].

Лишь около десятка стран в мире развивают собственные технологии моделирования глобальной атмосферы (США, Англия, Канада, Франция, Япония, Германия, Австралия, Китай и Россия). Из-за ограниченности вычислительных ресурсов пространственное разрешение таких моделей недостаточно для прямого полного описания некоторых процессов (например, глубокой конвекции), поэтому такие процессы необходимо описывать параметрически, зная лишь характеристики атмосферы на масштабе характерного размера ячейки сетки (в настоящее время порядка 10 км по горизонтали).

Моделирование климата начало развиваться несколько десятилетий назад. Вначале климатические модели были фактически глобальными моделями атмосферы с фиксированной температурой поверхности океана. В дальнейшем климатические модели развивались в направлении большего усложнения, к ним постепенно подключались модели океана, почвы, морского льда и т.д. [8].

По мере развития моделей атмосферы, прогресса вычислительной техники становятся все более очевидно, что с улучшением параметризаций процессов подсеточного масштаба и повышением пространственного

разрешения ошибки модельного климата уменьшаются [10]. Это подтверждается и результатами по проекту сравнения моделей Земной системы CMIP3 (2007 г.) и CMIP5 (2013 г.). Также в последние десятилетия постепенно снижается уровень ошибок в численном прогнозе погоды [11].

#### ***Глобальная климатическая модель (ICON-IAP – Германия)***

На сегодняшний день в данной модели применяется икосаэдральная треугольная сетка, в экспериментальной модели применяют икосаэдральную сетку с шестиугольниками. Масса точек расположена на окружности каждой треугольной ячейки [12].

#### ***Атмосферная модель GFS (NCEP - США)***

В американском Национальном центре прогнозов окружающей среды применяется спектральная полулагранжева модель GFS с полунявной схемой интегрирования по времени. Разрешение этой модели составляет примерно 13 км, 64 вертикальных уровня [13].

#### ***Глобальная климатическая модель (Канада)***

Детерминированная глобальная Экологическая Многомасштабная (GEM) Операционная модель (Yeh et al. 2002) представляет собой весьма важный инструмент для среднесрочного численного прогнозирования погоды в канадском Метеорологическом центре (КМЦ) [14].

#### ***NCAR (США)***

Совместная модель атмосферы и океана, в настоящее время используется для изучения естественной изменчивости климатической системы и реакций на изменения. Модель содержит океанические и атмосферные модели, биофизические процессы наземной поверхности, модель гидрологии почвы и модели динамики морского льда [15].

Трехморная глобальная атмосферная модель, разработанная в NCAR для сообщества по исследованию погоды и климата. Климатическая модель атмосферы является составной частью совместной модели Земной системы CESM1 [16]. Модель включает в себя 4 различных блока решения уравнений динамики атмосферы: конечно-объемный эйлеров по горизонтали, лагранжев по

вертикали на «обычной» широтно-долготной сетке; блок с использованием спектральных элементов на кубической сфере, а также разработанные много лет назад спектральный эйлеров и конечно-разностный полулагранжев.

Модель включает в себя блок атмосферной химии, учитывающий основные процессы, связанные с малыми газовыми составляющими и аэрозолями, блок описания микрофизических процессов в облаках [8].

### ***ЕЦСПП (Великобритания) в сотрудничестве с Метео-Францией***

Несомненным лидером среди глобальных моделей среднесрочного прогноза погоды является модель Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП – ECMWF). Эта модель – спектральная полулагранжева с двухслойной полунявной схемой интегрирования по времени [17].

В настоящее время эта модель имеет разрешение  $T_L1279$  (примерно 16 км), вертикальное – 137 уровень [18].

### ***INMCM3.0 (Институт вычислительной математики РАН, Россия)***

Совместная модель общей циркуляции атмосферы входит в международный проект CMIP3. Разрешение в атмосферном блоке составляет  $5^\circ$  по долготе,  $4^\circ$  по широте, по вертикали 21 уровень в  $\sigma$ -координатах. Модель включает параметризацию радиационных процессов, конвекции и конденсации, процессы в почве и на поверхности суши, гравитационно-волновое сопротивление [19].

### ***ПЛАВ (Россия, Гидрометцентр)***

Вычислительно эффективная полулагранжева глобальная конечно-разностная модель общей циркуляции атмосферы. Версия полулагранжевой модели атмосферы ПЛАВ с разрешением  $0,9^\circ$  по долготе,  $0,72^\circ$  по широте и 28 уровнями по вертикали успешно прошла оперативные испытания и внедрена в Гидрометцентре России [20].

Существующие модели долгосрочного прогнозирования климата не позволяют получить однозначный прогноз даже на первое столетие, так, согласно оценкам, полученным по климатическим моделям, на которые

ссылается МГЭИК при ООН температура поверхности Земли может повыситься как на 1.1, так и на 6.4 °C.

Климатические модели являются основными инструментами для исследования реакций климатической системы на различные воздействия, прогнозы на сезонных и десятилетних временных масштабах и для составления прогнозов будущего климата, в ближайшие столетия и за ее пределами.

### **1.6 Недостатки глобальных математических моделей**

Глобальные модели общей циркуляции атмосферы используются для исследования климата, изучения влияния внешних факторов на климатические изменения. Тем не менее имеют ряд ограничений своей применимости, которые связаны с недостаточностью разрешения региональных особенностей.

Модели не дают прогноз изменения климата, они лишь описывают ансамбль возможных состояний климатической системы при воздействии на нее антропогенных и естественных факторов по заданному сценарию. Вычисленные по моделям значения метеорологических величин можно использовать только в обобщенном виде, например, в виде осредненных по времени или по пространству величин климатических параметров [4].

Существуют неточности в описании регионального климата. Для оценки точности моделей в географическом регионе необходимо сравнение реальных и модельных значений в отдельных точках этого региона. В результате сравнения значений, средняя ошибка температуры по всем моделям составляет от – 4.5 °C до + 1.5 °C [21].

Наибольшее занижение температуры моделей приходится на холодный сезон. Тогда же отмечается и наибольший разброс между расчетами моделей. Заметные систематические ошибки наблюдаются на северо-западе России, однако к востоку эта погрешность уменьшается. Летом средние отклонения температуры от данных наблюдений существенно меньше [7].

Совместная модель атмосферы и океана характеризуется, прежде всего, ошибкой воспроизведения ТПО (температура поверхности океана). В



большинстве районов ошибка составляет 2 градуса, а в районах северо-западной Атлантики, ошибка достигает 6 градусов [21]. Кроме того, на 4 градуса завышена температура в умеренных широтах южного океана и в тропиках у восточного берега Тихого океана, а занижена на 2 градуса в приэкваториальном Тихом океане. Эти ошибки являются общими для большинства современных моделей [22].

Один из подходов, для того чтобы обойти эти трудности является моделирование регионального климата. Пространственное разрешение в региональных моделях климата увеличивается так, чтобы можно было явно описать региональные явления, которые обусловлены особенностями подстилающей поверхности.

Приземная температура – достаточно надежно наблюдаемый климатический параметр, который характеризует региональные особенности энергетического баланса и крупномасштабные аномалии климатической системы. Различные исследования изменений температурных данных воздуха на основе анализа данных сети метеорологических станций проводятся в России и за рубежом. Из-за наличия различий в используемых методах анализа данных, неоднородности временных рядов, неравномерности пространственно-временного распределения, влияния «тепловых островов» и т.п. архивы данных могут различаться между разными группами исследований, иногда значительно.

Еще одна из возможностей оценивать модельное воспроизведение климатических характеристик предоставляется данными реанализа, которые используют МОЦА в режиме прогноза погоды с ассимиляцией данных наблюдений. Данные реанализа позволяют преобразовывать нерегулярные во времени и пространстве наблюдения в сеточные глобальные поля, которые охватывают периоды в несколько десятилетий. Поскольку некоторые данные реанализа не ассимилируются, несмотря на наличие соответствующих данных наблюдений, то существуют сомнения в их достоверности. Поэтому указанные переменные рассчитываются с погрешностями, которые присущи модельным расчетам. Качество данных реанализов для ассимилируемых переменных

зависит от плотности наблюдаемой сети. Несмотря на ряд ограничений, данные реанализа являются динамически и термодинамически согласованными и полезными источниками.

Архивы данных приземной температуры воздуха, полученные посредством моделей реанализа.

Архив Era-Interim получен при помощи модельного реанализа в Европейском центре прогноза погоды. Архив содержит метеоданные с 12-ти часовым временным разрешением в узлах сетки T255 (примерно 80 x 80 км) за период с 1979 г. по настоящее время.

Архив данных реанализа NCEP2, создан в США, использует сетку 2.5° x 2.5° и охватывает период с 1979 по 2014гг. основное отличие от ЕКФ в использовании спутниковых наблюдений за температурой в дополнении к данным наблюдений на станциях.

Оценка точности данных архивов для территории России приведена в работе [23]. В Кокорева В.А и Шерстюкова А.Б работе была оценена точность воспроизведения по следующим характеристикам: среднегодовая и сезонные температуры; суммы температур вегетационного и биологически активного периодов; дефицит тепла; сезонные и годовые суммы осадков.

## **1.7 Методы группировки – реанализ данных**

Для анализа накопленных природно-климатических данных применяются различные методы группировки. К классическим методам анализа многомерных геофизических данных относят: метод главных компонент, факторный анализ, корреляционный анализ, дискриминантный анализ, кластерный анализ, многомерное шкалирование. Выбор методов зависит от целей исследования и природы данных [23].

С использованием корреляционного анализа изучаются пространственно-временные связи между различными полями метеопараметров. В климатологии, например, для сезонного прогноза, анализа структуры колебаний Эль-Ниньо

используют канонический корреляционный анализ в линейной и нелинейной формах [23].

Среди методов многомерной статистики именно кластеризация чаще всего применяется для обработки данных во многих природно-климатических исследованиях. Например, иерархическая кластеризация использовалась при решении задачи прогноза облачности в [24]. Также в работе [25], для решения задачи климатического районирования использовалась иерархическая кластеризация. На основе данных 35 метеостанций по 22 климатическим показателям.

Для решения задачи пространственной декомпозиции метеорологических полей Северного полушария была использована кластеризация по методу  $k$ -средних [26]. Для исследования были использованы глобальные агроклиматические данные, где для каждой метеостанции мира указаны до 14-ти наблюдаемых и вычисляемых параметров.

Таким образом, кластеризация является методом, интенсивно применяемым при анализе природно-климатических данных.

Климатическое районирование направлено на анализ закономерностей формирования различных типов климата в глобальной климатической системе. Научная и практическая значимость любой климатической структуризации бесспорна.

При выделении климатических районов также помимо температурно-влажностных характеристик учитывается преобладание над территорией соответствующих типов воздушных масс по сезонам года и характер подстилающей поверхности. Так, например, в одной из наиболее используемых классификации климата В.П. Кеппена классы выделены на основе количественных критериев тепло-влажностного режима с учетом ландшафта зон суши [27]. Климатические зоны по Б.П. Алисову определяются в зависимости типов воздушных масс и их циркуляции [23]. Современные классификации предлагают более математизированные подходы, которые основаны на учете

вклада каждого влияющего фактора, на применении иерархического кластерного анализа данных температуры, осадков и др. [27].

## **1.8 Кластерный анализ**

Из вышесказанного следует, что одним из распространённых методов решения задачи климатического районирования является кластеризация данных.

Для начала следует отметить, в чем разница между классификацией и кластеризацией. Кластеризация разбивает множество объектов на группы, которые определяются только ее результатом. Классификация относит каждый объект к одной из заранее определенных групп [28].

Кластерный анализ – это многомерная статистическая процедура, которая выполняет сбор данных, содержащих информацию о выборке объектов, и затем упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы (кластеры). Кластеры – группа элементов, характеризующихся общим свойством, главная цель кластерного анализа – нахождение групп схожих объектов в выборке [25].

Для каждого кластера вычисляются статистические и структурные характеристики. Именно структурные параметры дают возможность количественного сравнения различных кластеров друг с другом. Результатом кластерного анализа является набор кластеров, которые обладают похожим поведением изучаемого параметра.

Существует большое количество разновидностей методов кластеризации числовых данных, которые обладают как своими достоинствами, так и недостатками. Однако, у большинства из них есть общая черта – необходимость задавать количество кластеров до начала кластеризации, что существенно затрудняет обработку данных и сужает возможности кластеризации. Поэтому для получения объективной информации требуются методы, в которых не нужно указывать количество кластеров. Такую возможность предоставляют иерархические методы (агломеративные и дивизимные), а из неиерархических – алгоритм CLOPE [23]. Особенностью иерархических алгоритмов является

обеспечение сравнительно высокого качества кластеризации. При этом не требуется предварительное задание количества кластеров.

Наличие субъективного влияния исследователя на выполнение каждого этапа кластерного анализа обуславливает неоднозначность полученного результата. Требуется и сравнение с аналогичными результатами, но в другом пространстве показателей, и сравнение с результатами анализа, но с другими инструментальными средствами.

## 2 АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ КЛИМАТО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### 2.1 Математическое описание и построение модели температурных колебаний

Предложенная математическая модель колебания приземной температуры, включает в себя четыре составляющих: глобальную, годовую, сезонную и некоторую постоянную. Глобальная составляющая колебания  $G(\tau)$  характеризуется глобальными процессами, происходящими на Земле за длительные промежутки времени. Проводя исследования изменений температуры за короткие промежутки времени глобальной составляющей можно пренебречь. Годовая составляющая  $Y(\tau)$  характеризует изменения температуры за период равный одному году. Изменения температуры период которых, меньше одного года, характеризуются сезонной составляющей  $S(\tau)$ . Сезонная составляющая дает информацию о локальном климате. Средняя температура остается неизменной на выбранном временном интервале  $c$ . Средняя температуры связана с широтой местности.

$$T(\tau) = G(\tau) + Y(\tau) + S(\tau) + C, \quad (2.1)$$

где  $G(\tau) = t_g \cdot \cos(\varphi(\tau) + \varphi_0)$  – глобальное изменение температуры;

$Y(\tau) = t_y \cdot \cos(\varphi(\tau) + \varphi_0)$  – годовое изменение температуры;

$S(\tau) = t_s \cdot \cos(\phi(\tau) + \phi_0)$  – сезонное изменение температуры;

$$C = \sum_{\tau=1}^N \frac{T(\tau)}{N} \text{ — постоянная}$$

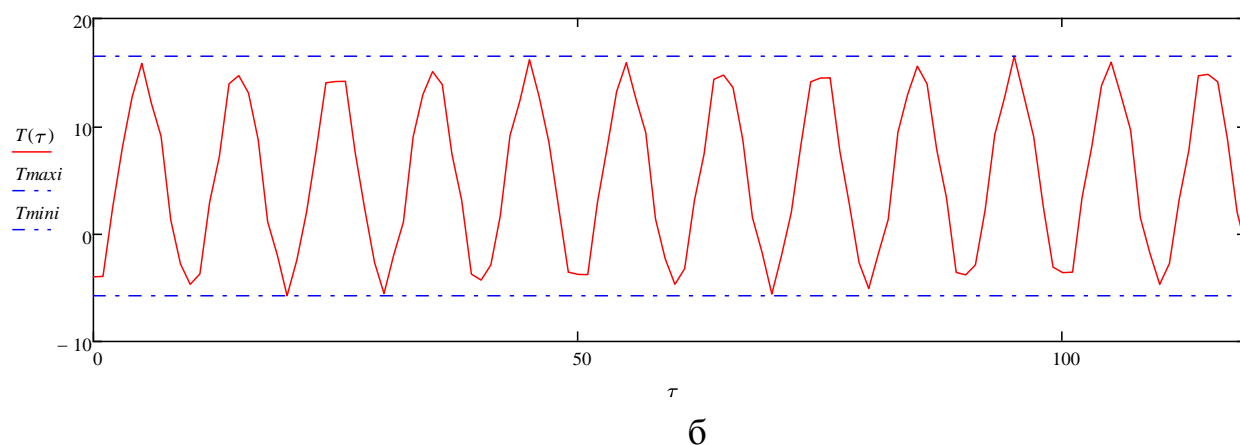
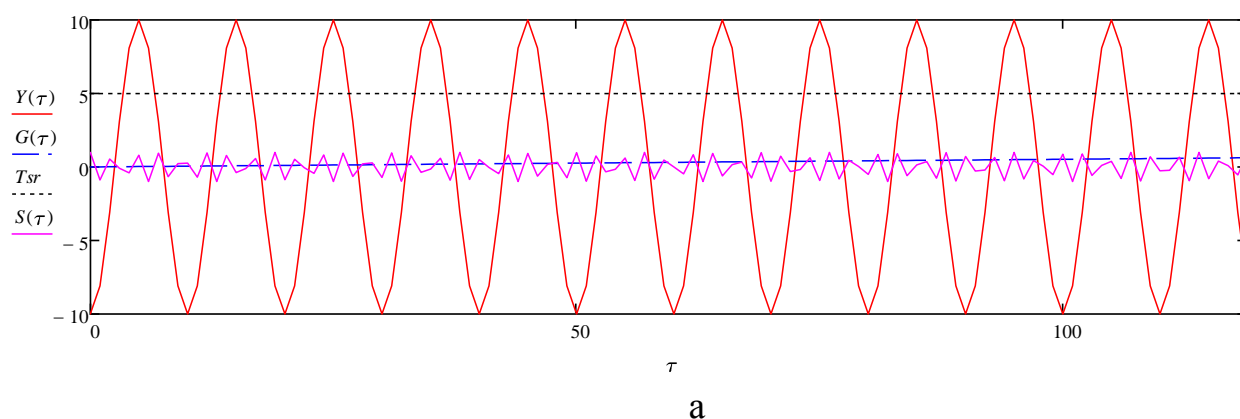
Численное моделирование процесса колебания температуры за модельный период времени.

### 2.2 Пример построения модельной функции

Исходные данные математической модели:

- модельный период времени равный 10 лет,

- оценка температуры среднемесячная, следовательно, число отсчетов 120,
- средняя температура  $C = 5^{\circ}\text{C}$ ,
- модельный период времени для глобальных изменений равный 100 лет, число отсчетов 12000,
- максимальное значение амплитуды для глобальной и для годовой составляющих принято равным  $10^{\circ}\text{C}$ , для сезонной  $1^{\circ}\text{C}$ ,



**Рисунок 2.1 – Модельная функция**

В результате численного моделирования получены функции, отдельных составляющих модели, каждая из которых имеет отличные от других характеристики. Функция, построенная в соответствии с описанной моделью (2.1), имеет схожую структуру с рядом значений среднемесячных температур.

### 2.3 Предварительный анализ данных наблюдений

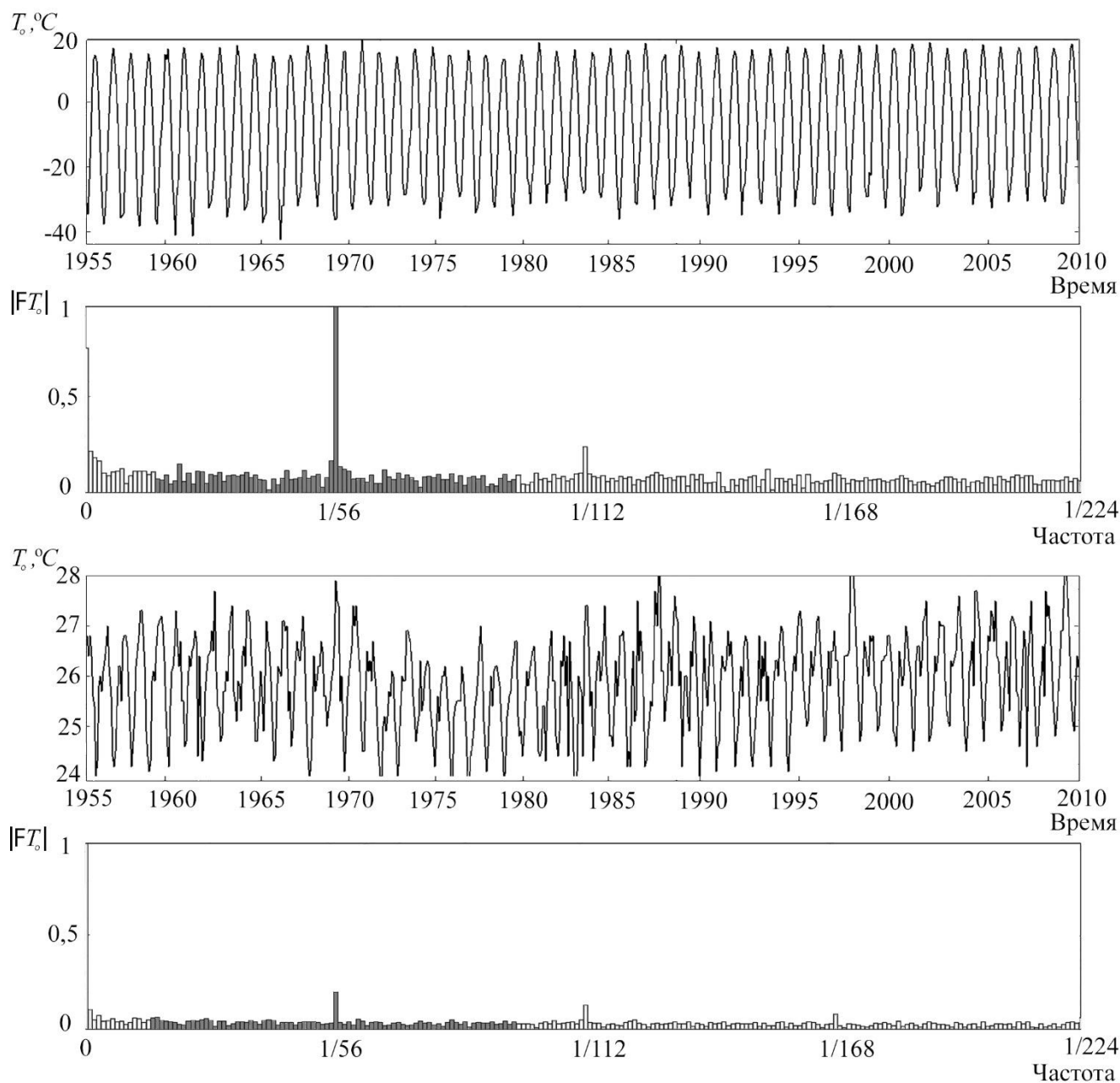
В работе используются температурные сигналы, представленные в виде среднемесячных значений температуры, полученные на метеостанциях Северного полушария Земли за период времени с 1955 по 2010 год, – интервал наблюдений составляет 56 лет [29].

Исследуемые сигналы рассматриваются в виде колебательного процесса, который, как известно из ряда работ, может быть описан амплитудой и фазой [30, 31].

На рисунке 2.2 представлены два характерных температурных сигнала  $T_o(\tau)$  и их Фурье-спектры  $|FT_o|$ . Первый сигнал (рисунок 2.2, а) получен на метеостанции «Tomsk» (Россия), расположенной в умеренных широтах, второй сигнал (рисунок 2.2, б) получен на метеостанции «Douala obs.» (Камерун), расположенной в тропиках.

Как это следует из представленных зависимостей (рисунок 2.2, а, г), наиболее выражена мода на несущей частоте  $1/56$ , соответствующая колебанию с периодом в один год. Менее выражены моды на кратных частотах, которые могут быть следствием нелинейных искажений некоторого начального колебания. Присутствует также постоянная составляющая на нулевой частоте и 5-10% широкополосный фон. Сопоставление температурных сигналов разных метеостанций показывает, что в умеренном поясе в спектре температурного сигнала преобладает мода на несущей частоте (рисунок 2.2, б), тогда как в тропическом поясе величина этой моды незначительно отличается от мод на кратных частотах (рисунок 2.2, г).





**Рисунок 2.2 – Температурные сигналы  $T_o(\tau)$  и их нормированные модули преобразования Фурье  $|FT_o|$  за период с 1955 по 2010 год, полученные на метеостанциях: «Tomsk» (Россия; синоптический индекс 29430; широта 56,5°N; долгота 84,9°O; высота над уровнем моря 139м) – а, б и «Douala obs.» (Камерун; синоптический индекс 64910; широта 4°N; долгота 9,7°O; высота над уровнем моря 9м) - в, г. Спектральный интервал  $\Delta\nu$  обозначен темным цветом. Спектральные частоты представлены в долях интервала наблюдения, показаны первые 224 отсчета из 2048**

## 2.4 Аналитический сигнал

Амплитуда и фаза требуют определения, которое должно быть конструктивным, т.е. поддерживаться вычислительным алгоритмом.

Непротиворечивое определение амплитуды и фазы дается на основе аналитического сигнала (АС), введенного в 1946 г. Д. Габором [30].

Аналитический сигнал  $w(\tau)$  является комплексной функцией, которая представляет колебание температуры  $T(\tau)$  во времени как естественное обобщение гармонических колебаний:

$$W(\tau) = T(\tau) + iV(\tau), \quad V(\tau) = \frac{1}{\pi} \text{v.p.} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{T(s)}{\tau - s} ds, \quad (2.2)$$

где несобственный интеграл определен в смысле главного значения по Коши (v.p.) в тех случаях, когда  $s \rightarrow \pm\infty$  и при  $\tau = s$ . Мнимая составляющая аналитического сигнала  $-V(\tau)$  является Гильберт-трансформантой [31, 32] его действительной части  $T(\tau)$ . Введение комплексного представления  $w(\tau)$  позволяет определять амплитуду и фазу известным способом:

$$a(\tau) = \sqrt{T^2(\tau) + V^2(\tau)}, \quad \Phi(\tau) = \arctg \frac{V(\tau)}{T(\tau)}, \quad \Phi(\tau) = 2\pi\nu_c\tau + \varphi(\tau), \quad (2.3)$$

Величина  $\Phi(\tau)$  есть полная фаза, которая определена как главное значение функции  $\arctg$  и может быть сшита по непрерывности, для узкополосного сигнала непрерывная фаза  $\Phi(\tau)$  всегда реализуется и изменяется монотонно.

С вычислительной точки зрения преобразование Гильберта эквивалентно умножению в частотной области  $(\nu)$  на функцию  $i \operatorname{sgn} \nu$ , поэтому АС, соответствующий данной действительной функции  $T(\tau)$ , получается путем обнуления одной половины Фурье-спектра этой функции. Такой односторонний спектр называют причинным или каузальным.

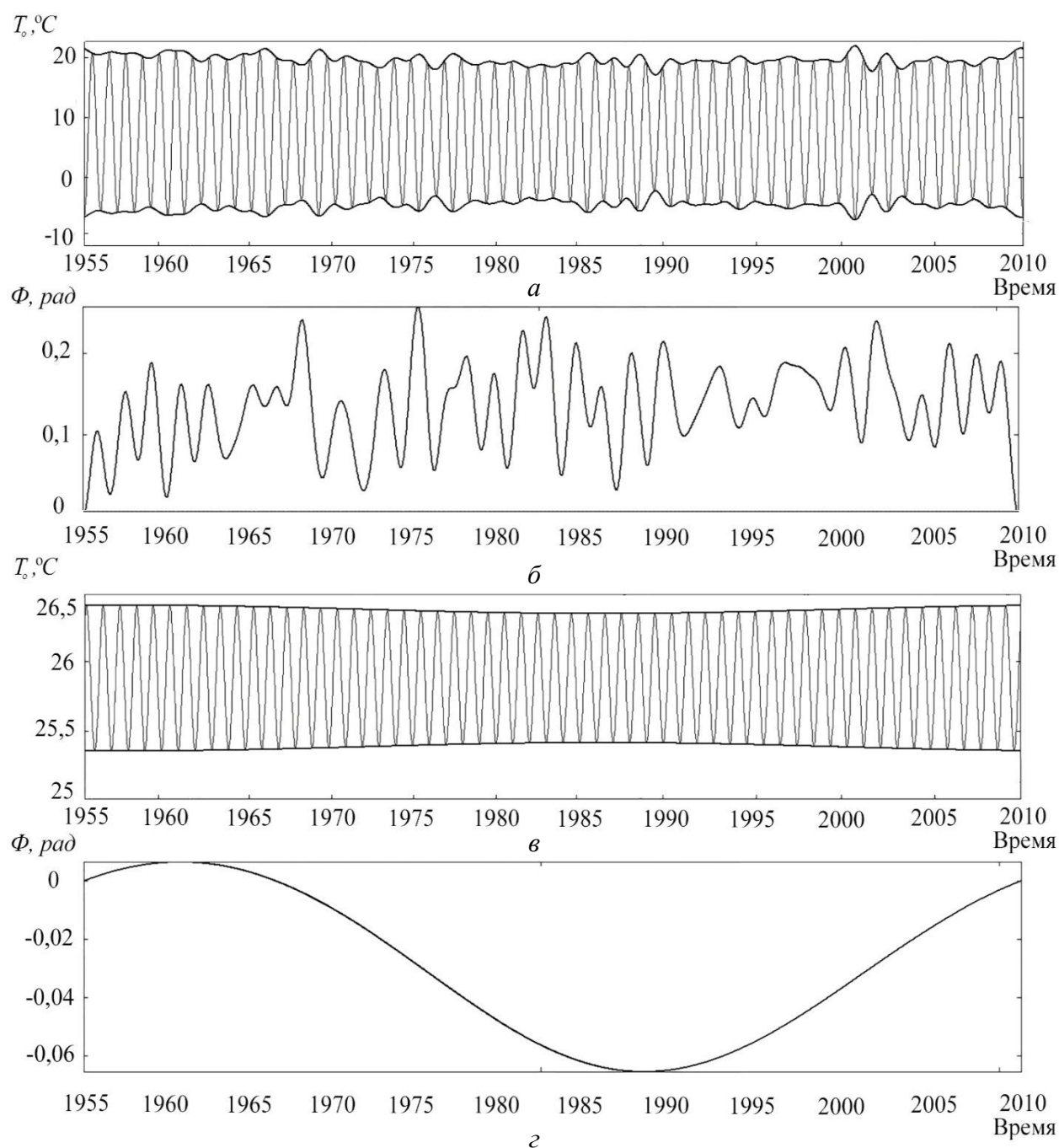
Применяя преобразование (2.2) к модели (2.1) получим аналитический сигнал в виде:

$$T(\tau) = a(\tau) \cos[2\pi\nu_c\tau + \varphi(\tau)] = a(\tau) \cos\varphi(\tau) \cos 2\pi\nu_c\tau - a(\tau) \sin\varphi(\tau) \sin 2\pi\nu_c\tau$$

$$V(\tau) = a(\tau) \cos\varphi(\tau) \sin 2\pi\nu_c\tau + a(\tau) \sin\varphi(\tau) \cos 2\pi\nu_c\tau = a(\tau) \sin[2\pi\nu_c\tau + \varphi(\tau)]$$

$$W(\tau) = a(\tau) \exp i[2\pi\nu_c\tau + \varphi(\tau)], \quad (2.4)$$

Эта операция использует свойства преобразования Гильберта и справедлива не только для узкополосных сигналов, но и в более общих случаях, когда  $t(\tau)$  по своей природе является двухполосным сигналом, т.е., когда несущая частота  $\nu_c$  высока настолько, что спектры функций  $\exp i2\pi\nu_c\tau$  и  $a(\tau)\exp i\varphi(\tau)$  не пересекаются. Для реальных сигналов это условие выполняется приближенно. В нашем случае сигнал  $t(\tau)$  формируется искусственно, всегда можно подобрать спектральное окно  $\Omega(\nu)$  таким, что фаза  $\Phi(\tau)$  будет монотонной. Однако для сохранения полезной информации окно надо выбирать максимально широким. Результат будет зависеть от конкретных метеоданных, а критерием эффективности проводимых операций будет корректность полученной классификации климата.



**Рисунок 2.3 – Фильтрованные температурные сигналы  $T_o(\tau)$  и их огибающие и фазы за период с 1955 по 2010 год, полученные на метеостанциях: «Tomsk» а, б и «Douala obs.» - в, г**

## **2.5 Алгоритм классификации температурных сигналов**

Вычислим натуральный логарифм от аналитического сигнала и получим комплексную функцию  $L$ , содержащую логарифм амплитуды и полную фазу в действительной и мнимой части соответственно. В результате логарифмирования амплитуда  $\chi(\tau)$  уже не будет иметь значительную

постоянную составляющую. Затем устраним линейную составляющую полной фазы  $\phi(\tau)$  путем приведения к нулю ее значений в начале и конце интервала наблюдения, содержащего целое число годовых периодов. В результате получим

$$\ln W(\tau) = \ln a(\tau) + i[(2\pi\nu_c\tau + \phi(\tau))] \rightarrow L = \chi + i\phi \quad (2.5)$$

Данные наблюдений, представленные функциями  $L$ , образуют множество, элементы которого соответствуют метеостанциям с номерами  $j = 1, 2, \dots, N$  или  $k = 1, 2, \dots, N$ ,  $N = 818$ . Процедура классификации состоит в вычислении корреляционной матрицы  $\|r_{j,k}\|$  элементов множества  $L$  и последующего разбиения этого множества на группы  $G^n$  с номерами  $n$  такие, что коэффициент корреляции его элементов внутри группы  $r_{j,k} = \langle L_j, L_k \rangle \geq \hat{r}$ ,  $L_j \in G^n$ ,  $L_k \in G^n$ ,  $G^n \supset L$ , где  $\hat{r}$  заданный уровень корреляции.

Для элементов множества  $L$ , попавших в группу  $G^n$  вычисляется текущее значение путем замены первоначального на среднее значение внутри группы, это действие выполняется для каждой группы. Затем повторяется вычисление матрицы  $\|r_{j,k}\|$  и заново формируются группы (рисунок 2.3). Итерации останавливаются, когда текущие и средние значения элементов внутри группы отличаются на заданную малую величину  $\varepsilon$ . В пределе формируется некоторое количество групп из комплексных элементов, каждый из них соответствует только одной из  $N$  метеостанций. Таким образом, каждой группе определяется предельное значение, которое назовем типовым элементом группы. Типовой элемент по определению комплексный, он состоит из типового логарифма амплитуды и типовой фазы

$$\chi + i\phi \in G^n \quad (2.6)$$

Сходимость итерационного процесса следует из двух условий: конечности выборки (число метеостанций равно  $N$ ) и справедливости неравенства  $|\langle L_j \rangle| \leq \max |L_j|$ . Поэтому в итерационном процессе значения

текущих элементов из любого подмножества выборки стремятся к пределу, к типовым элементам. Значения типовых элементов определяется коррелированностью участвующих в итерационном процессе исходных и текущих элементов, а также заданным уровнем корреляции внутри группы  $\hat{r}$ .



Рисунок 2.4 – Блок-схема итерационного алгоритма группировки фаз

### **3 ПРОВЕДЕНИЕ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ АЛГОРИТМА КЛИМАТИЧЕСКОЙ ГРУППИРОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

#### **3.1 Замкнутый численный эксперимент**

Для оценки эффективности и целесообразности применения разработанного алгоритма климатической кластеризации проводится численный эксперимент. Основной задачей эксперимента является оценка точности восстановления сигналов.

##### *3.1.1 Численное исследование качества оценок фазы*

Цель численного эксперимента – получение результатов работы алгоритма при разных уровнях вносимого аддитивно в исходный сигнал шума.

Порядок проведения численного эксперимента состоял из следующих операций:

- 1) Формирование исходного сигнала и сигнала с шумом.

Исходный сигнал задавался в соответствии с математической моделью (2.1). В качестве фазы в модельном сигнале использовалась функция следующего вида:

Сигнал с шумом формировался как исходный сигнал, содержащий аддитивную составляющую шума. Шум задавался в частотной области. За центр интервала полосы частот принималась основная частота исходного сигнала. Для генерации шума применялся датчик случайных чисел программы «Mathcad», который создавал вектор из заранее заданного количества случайных чисел имеющих равномерное распределение. Сформированный сигнал, являющийся шумом, вводился в исходный сигнал. Уровень шума определялся как отношение СКО шума к СКО исходного сигнала.

- 2) Восстановление сигналов с шумом в результате работы алгоритма и вычисление оценки нормированной среднеквадратической ошибки.

Оценка нормированной среднеквадратической ошибки вычислялась по формуле:



$$\varepsilon_{\varphi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta S_i - \overline{\Delta S})^2}{\sum_{i=1}^N (s_i^e - \overline{s}^e)^2}} \quad (6.1)$$

где

$\Delta S$  – разность между исходным и восстановленным сигналами,

$\overline{\Delta S}$  – среднеарифметическое значение разности сигналов,

$s^e$  – исходный сигнал

$\overline{s}^e$  – среднеарифметическое значение исходного сигнала,

$N$  – количество отсчётов.

В ходе эксперимента варьируемым параметром являлся уровень шума.

Выборочный ансамбль состоял для всех экспериментов из 100 разных реализаций сигналов для каждого уровня шума.

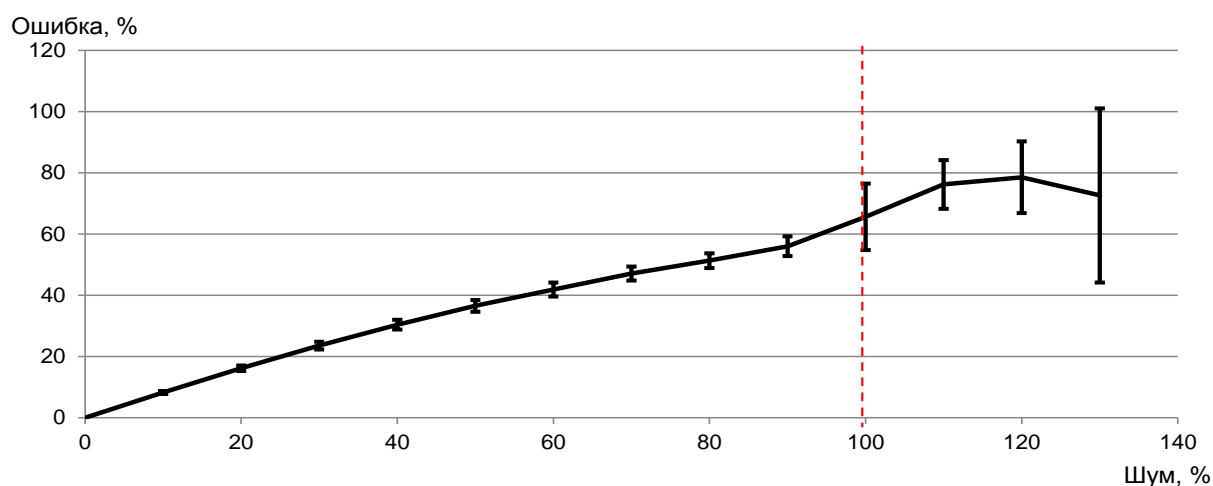
Отдельные контрольные эксперименты с большим объемом выборки равной 225 реализациям сигнала показали, что среднее и дисперсия не меняются. Это было расценено как наличие статистической устойчивости.

При данном объеме выборки в силу центральной предельной теоремы среднее арифметическое  $\langle \varepsilon_{\varphi} \rangle$  будет распределено по закону, близкому к нормальному. При проведении статистического эксперимента представляют интерес случаи с малым  $\sigma_{\varepsilon_{\varphi}}$ , что означает устойчивость алгоритма оценивания фазы к входным параметрам, вследствие этого среднее арифметическое как оценка  $\varepsilon_{\varphi}$  будет близко к оценке максимального правдоподобия.

### 3.1.2 Результаты численного эксперимента

Исследование влияния уровня шума на оценку нормированной среднеквадратической ошибки восстановления фазы проводилось для аддитивного шума.

Шум накладывался в диапазоне спектра частот от нуля до удвоенного значения основной частоты исходного сигнала  $f_o=56$ . Оценка нормированной среднеквадратической ошибки восстановления фазы рассчитывалась при изменении отношения шума к сигналу от 0%, до 140%.



**Рисунок 3.1 – Оценки нормированной среднеквадратической ошибки алгоритма при аддитивном шуме**

Из полученных данных, представленных на рисунке 3.1, видно, что с увеличением уровня шума растет среднее значение нормированной среднеквадратической ошибки и увеличивается ее среднеквадратическое отклонение.

Результаты:

1. Ошибка восстановления исходных сигналов при шуме 70% не превышает 50%.
2. Алгоритм устойчив до уровня шума 90%, после ошибка может достигать 100 %.

В результате численного эксперимента показано, что алгоритм климатической группировки устойчив к аддитивному шуму и способен восстанавливать, исходные сигналы при шуме достигающем уровень 70 % с ошибкой не превышающей 50 %, что обеспечивает возможность применения данного алгоритма для анализа натуральных климатических сигналов.

## 4 РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Для исследованных в данной работе 818 температурных сигналов при заданном уровне корреляции  $r = 0,8$  и  $\varepsilon = \pm 0,001$ , достигнуто максимальное число итераций:  $i = 11$ . Конечное число итераций при неизменном значении  $\varepsilon$  является подтверждением наличия сходимости итерационного алгоритма. При заданном уровне корреляции  $r = 0,8$ , процесс сошелся к 17 типовым фазам, рисунок 4.1. Каждая типовая закономерность уникальна [33]. Максимальные значения корреляции между типовыми, не превышают 0,67 для фаз.

Вычисление коэффициента корреляции между исходными сигналами и типовыми позволяет провести распределение метеостанций по выделенным климатическим кластерам в соответствии с заданным уровнем тесноты взаимосвязи.

В результате реализации предложенного алгоритма для метеоданных, полученных на метеостанциях, расположенных на всей территории Северного полушария исходное 818-мерное пространство температурных сигналов структурировалось в 17-мерное пространство по типовым фазам. Каждый отдельный кластер определяет географический район, где изменения температуры происходят синхронно (рисунок 4.1).



**Рисунок 4.1 – Схема кластеризации поля приземной температуры Северного полушария (1955 – 2010 гг.). Каждый климатический класс обозначен номером от 1 до 17. Станции, не вошедшие в классы, обозначены символом «+»**

На рисунке 4.1, отражена четкая географическая локализация климатических кластеров. Несмотря на то, что описанный алгоритм, реализован только на данных приземной температуры, климатические кластеры соответствуют известным климатическим классификациям [34–36].

В результате анализа выявлено, что спектры температурных сигналов, полученных на метеостанциях, расположенных вблизи экватора не имеют несущей частоты. Это обусловлено отсутствием выраженного годового колебания в данных температурных сигналах. Для таких сигналов применение теории аналитического сигнала не возможно. Фазы могут быть рассчитаны для узкой полосы фильтрующего окна при условии сохранения их монотонности и неразрывности. Именно поэтому большая часть станций, расположенных вблизи экватора, не попала ни в один из климатических классов (эти станции, обозначены крестиком «+»).

Температурные сигналы, полученные на метеостанциях, расположенных в «Арктической зоне», имеют выраженные ежегодные колебания температурных значений. Для этой зоны не удастся сформировать климатические классы в результате малой плотности метеостанций, (эти станции, обозначены крестиком «+»). Каждая метеостанция является уникальным кластером.










Результаты проведенного исследования показывают, что различные структурные составляющие климатической системы по-разному реагируют на одно и то же глобальное энергетическое воздействие (аккумулируют энергию, изменяют ее, пропускают без изменений), что дает возможность климатической системе самоорганизовываться – получая через локальную неоднородность отдельных климатических параметров устойчивость геосистемы в целом.

## 5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ


### 5.1 Предпроектный анализ

#### 5.1.1 Потенциальные потребители исследования

Целью магистерской диссертации является разработка алгоритма климатической кластеризации данных о приземной температуре. Целевым рынком для разрабатываемого алгоритма могут являться различные климатические институты и институты мониторинга климата, Администрация районов, нефтегазовые предприятия, осуществляющие добычу и транспортировку топлива.

		Характеристики			
		Времязатратность	Точность	Цена	Простота использования
Заинтересованные стороны	Институты мониторинга			 	
	Администрация районов				
	Нефтегазовые предприятия	 	 		

 – разрабатываемый алгоритм

 – алгоритм конкурентов

#### 5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный разбор конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Данный анализ проводится с помощью оценочной карты и отображен в таблице 1.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>
1	2	3	4	6	7
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.1	4	3	0.4	0.3
2. Энергоэкономичность	0.1	5	3	0.5	0.3
3. Надежность	0.15	4	4	0.6	0.6
4. Помехоустойчивость	0.1	5	4	0.5	0.4
5. Безопасность	0.05	4	4	0.2	0.2
6. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.1	3	5	0.3	0.5
7. Простота эксплуатации	0.05	5	3	0.25	0.15
8. Потребность в ресурсах памяти	0.05	5	3	0.25	0.15
9. Качество интеллектуального интерфейса	0.05	4	5	0.2	0.25
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
1. Конкурентоспособность продукта	0.05	4	4	0.2	0.2
3. Цена	0.1	4	2	0.4	0.2
5. Послепродажное обслуживание	0.05	5	3	0.25	0.15
6. Финансирование научной разработки	0.05	3	4	0.15	0.2
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>55</b>	<b>47</b>	<b>4.2</b>	<b>3.15</b>

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Проанализировав оценочную карту, можно сделать вывод, что алгоритм кластеризации температурных данных имеет высокую конкурентоспособность. Позиции конкурентов особенно уязвимы в простоте использования алгоритма. Конкурентное преимущество разработки заключается в цене и помехоустойчивости, однако уступает в функциональной мощности.

### 5.1.3 FAST-анализ

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

Проведение FAST-анализа предполагает шесть стадий:

1. Выбор объекта FAST-анализа;
2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом;
3. Определение значимости выполняемых функций объектом;
4. Анализ стоимости функций выполняемых объектом исследования;
5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
6. Оптимизация функций выполняемых объектом.

**Стадия 1.** Объектом FAST-анализа является алгоритм кластеризации температурных данных.

**Стадия 2.** Главная функция объекта – выделения климатических кластеров в различных пространственно-временных масштабах.

Основная функция по процессам: подготовка данных – для начальных условий, подготовка карт – нанесение сетки для последующего внесения данных.

Вспомогательная функция: нанесение групп на карты – для занесения групп на сетку карты, выдача отчета – получение результата.

Вся информация, полученная при выполнении данной стадии, представлена в таблице 5.2.



Таблица 5.2 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование процесса	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Разработка ПО		Создает основу для алгоритма	✓		
Подготовка данных		Задаёт начальные условия для алгоритма		✓	
Подготовка карт		Создание сетки для внесения данных		✓	
Нанесение групп на карты		Занесение групп на сетку карты			✓
Выдача отчета		Получение результата			✓

**Стадия 3.** Определение значимости выполняемых функций объектом. Для оценки значимости функций используем метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глущенко В. Ф.

На первом этапе строим матрицу смежности функций (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Матрица смежности

	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5
Ф1	=	<	<	<	<
Ф2	>	=	>	>	<
Ф3	>	<	=	>	<
Ф4	<	<	<	=	>
Ф5	<	<	<	<	=

На втором этапе преобразуем матрицу смежности в матрицу количественных соотношений функций (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Матрица количественных соотношений функций

	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	ИТОГО
Ф1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	3
Ф2	1.5	1	1.5	1.5	0.5	6
Ф3	1.5	0.5	1	1.5	0.5	5
Ф4	0.5	0.5	0.5	1	1.5	4
Ф5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	3
						<b>21</b>

На третьем этапе определим значимости функций путем деления балла, полученного по каждой функции на общую сумму баллов по всем функциям.

Для первой функции относительная значимость равна  $3 / 21 = 0.14$ ; для функции 2 –  $6 / 21 = 0.29$ ; для функции 3 –  $5 / 21 = 0.24$ ; для функции 4 –  $4 / 21 = 0.19$ ; для функции 5 –  $3 / 21 = 0.14$ .

**Стадия 4.** Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования.

На данной стадии с помощью специальных методов оценивается уровень затрат на выполнение каждой функции. Сделать это возможно с помощью применения нормативного метода. Расчет стоимости функций приведен в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование процесса	Кол-во деталей	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоемкость детали, нормо-ч	Стоимость материала, руб	Заработная плата, руб	Себестоимость, руб
Разработка ПО		Создает основу для алгоритма	–	–	–	–	–
Подготовка данных		Задаёт начальные условия для алгоритма	–	1.3	314	100	414
Подготовка карт		Создание сетки для внесения данных	–	1.2	255	50	305
Нанесение групп на карты		Занесение групп на сетку карты	–	1.12	125	110	235
Выдача отчета		Получение результата	–	1	56	20	76
<b>Итого</b>							<b>1030</b>

Общая стоимость функций равна 1030 рублей. Для функции 2 –  $414/1030 = 0,40$ ; для функции 3 –  $305/1030=0,30$ ; для функции 4 –  $235/1030=0,23$ ; для функции 5 –  $76/1030=0,07$ .

**Стадия 5.** Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ.

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, на данном этапе обобщается в виде функционально-стоимостной

диаграммы (ФСД) (рисунок 5.1). Анализ построенной ФСД показывает явное наличие рассогласования по функциям 2 и 5. Необходимо провести работы по ликвидации диспропорций.



**Рисунок 5.1 – Функционально-стоимостная диаграмма**

#### **Стадия 6. Оптимизация функций выполняемых объектом.**

На данном этапе для экономии предлагается следующее:

- Ускорить процесс заполнения данных, путем поиска дополнительного программиста;
- Применить новые технологические процессы и материалы.

В результате проведенного FAST-анализа были выявлены диспропорции между относительными затратами на функцию и ее относительной значимостью. Были предложены шаги, которые помогут снизить затраты и при этом не понизить потребительские свойства объекта.

##### **5.1.4 SWOT-анализ**

Первый этап SWOT-анализа заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта. Результаты первого этапа представлены в виде матрицы (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1: Низкая стоимость С2: Минимальные затраты на производство С3: Удобство и простота эксплуатации	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл2: Несовременная технологическая база
Возможности: В1: Появление дополнительного спроса на новый продукт. В2: Повышение стоимости конкурентных разработок	В1С1С2С3 – низкая стоимость и простота эксплуатации повышают конкурентность разработки на рынке. В2С2 – минимальные затраты на производство разработки приводят к повышению стоимости разработок конкурентов	В2Сл1 – отсутствие оборудования для проведения испытаний способствует повышению цен на конкурентные разработки
Угрозы: У1: Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2: Отсутствие денежных средств на реализацию проекта У3: Появление аналогов.	У2С1С2 – отсутствие средств на реализацию разработки приводит к снижению затрат на производство и соответственно стоимости	У2Сл2 – при отсутствии финансирования невозможно обновить техническую базу для создания разработки и проведения экспериментов. У3Сл1Сл2 – появление аналогов при незащищенности разработки и несовременной технической базы может вытеснить разработку с рынка

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторона научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. В таблице 5.7 приведена интерактивная матрица возможностей, угроз, сильных и слабых сторон проекта.

Таблица 5.7 – Интерактивная карта проекта

	Сильные стороны			Слабые стороны	
	С1	С2	С3	Сл1	Сл2
В1	+	+	+	–	–
В2	0	–	+	+	–

## 5.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты (таблица 5.8).

Таблица 5.8 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Составление и утверждение ТЗ	13.02.2017 – 26.02.2017	Отчет по НИР
2	Подбор и изучение материалов по теме исследования	28.02.2017 – 28.04.2017	Отчет по НИР
3	Постановка целей и задач	02.05.2017 – 05.05.2017	Отчет по НИР
4	Составление план-графика работ по теме	07.05.2017 – 11.05.2017	Отчет по НИР
5	Подготовка к разработке алгоритма (начальные условия)	13.05.2017 – 31.05.2017	Отчет по НИР
6	Написание программного кода алгоритма	01.09.2017 – 25.10.2017	Отчет по НИР
7	Исследование алгоритма, проведение расчетов	26.10.2017 – 28.02.2018	Отчет по НИР
8	Расчет ошибки алгоритма	01.03.2018 – 09.04.2018	Отчет по НИР
9	Анализ полученных результатов	10.04.2018 – 30.04.2018	Отчет по НИР
10	Подготовка и оформление результатов	01.05.2018 – 30.05.2018	Отчет по НИР
11	Сдача проекта	04.06.2018 – 14.06.2018	Магистерская диссертация

Датой начала проекта можно считать составление и утверждение технического задания на проект с 13.02.2017г. Дата сдачи проекта – 14.06.2018. Результат проекта – разработка и магистерская диссертация.














## 5.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. линейный график представлен в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Календарный план проекта

<b>Код работы (из ИСР)</b>	<b>Название</b>	<b>Длительность, дни</b>	<b>Дата начала работ</b>	<b>Дата окончания работ</b>	<b>Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)</b>
1	Составление и утверждение ТЗ	14	13.02.2017	26.02.2017	Волков Ю.В.
2	Подбор и изучение материалов по теме исследования	60	28.02.2017	28.04.2017	Плотникова В.В.
3	Постановка целей и задач	4	02.05.2017	05.05.2017	Волков Ю.В. Плотникова В.В.
4	Составление план-графика работ по теме	5	07.05.2017	11.05.2017	Волков Ю.В. Плотникова В.В.
5	Подготовка к разработке алгоритма (начальные условия)	18	13.05.2017	31.05.2017	Волков Ю.В. Плотникова В.В.
6	Написание программного кода алгоритма	56	01.09.2017	25.10.2017	Волков Ю.В.
7	Исследование алгоритма, проведение расчетов	135	26.10.2017	28.02.2018	Волков Ю.В. Плотникова В.В.
8	Расчет ошибки алгоритма	40	01.03.2018	09.04.2018	Волков Ю.В.
9	Анализ полученных результатов	21	10.04.2018	30.04.2018	Волков Ю.В. Плотникова В.В.
10	Подготовка и оформление результатов	31	01.05.2018	30.05.2018	Плотникова В.В.
11	Сдача проекта	11	04.06.2018	14.06.2018	Плотникова В.В.
<b>Итого</b>		<b>395</b>			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм, который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме предоставляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Код работы (из ИСР)	Вид работы	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал, дни	Продолжительность выполнения работ													
				Фев. 2017	Март 2017	Апр. 2017	Май 2017	Сент. 2017	Окт. 2017	Нояб. 2017	Дек. 2017	Янв. 2018	Фев. 2018	Март 2018	Апр. 2018	Май 2018	Июнь 2018
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	14														
2	Подбор и изучение материалов по теме исследования	Исполнитель	60														
3	Постановка целей и задач	Исполнитель Руководитель	4														
4	Составление плана-графика работ по теме	Исполнитель Руководитель	5														
5	Подготовка к разработке алгоритма (начальные условия)	Исполнитель Руководитель	18														
6	Написание программного кода алгоритма	Руководитель	56														
7	Исследование алгоритма, проведение расчетов	Исполнитель Руководитель	135														
8	Расчет ошибки алгоритма	Руководитель	40														
9	Анализ полученных результатов	Исполнитель Руководитель	21														
10	Подготовка и оформление результатов	Исполнитель	31														
11	Сдача проекта	Исполнитель	11														
				 – руководитель;  – исполнитель													

## 5.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для выполнения работ по данной теме. В данном разделе отражены все виды планируемых расходов, необходимые для выполнения проекта.

### 5.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3–5% от цены). Результаты представлены в таблице 5.10. В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов).

Таблица 5.10 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Бумага	Svetocopy A4	2 пачки	250	500
Картриджи	шт	1	1500	1500
Ручка	шт	2	30	60
Всего за материалы:				2060
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%):				61,6
Итого по статье С <sub>м</sub> :				2121,6

Бюджет на сырье, материалы и покупные изделия составил 2060 рублей, плюс транспортно-заготовительные расходы 61.6 рублей. Итого сырье, материалы и покупные изделия вышло 2121.6 рублей.

### 5.4.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную часть включает все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Все расчеты по приобретению спецоборудования сведены в таблице 5.11.



Таблица 5.11 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цены единицы оборудования, руб	Общая стоимость оборудования, руб
1	Персональный компьютер	1	25000	25000

Расходы на специальное оборудование для научных работ составили 25000 рублей.

#### 5.4.3 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется, исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок в Томском политехническом университете. Расчет основной заработной платы сведен в таблицу 5.12.

Таблица 5.12 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Трудоемкость, чел.-дни	Исполнитель по категориям	Заработная плата, приходящаяся на один чел.- дн., руб	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб
1	Составление и утверждение ТЗ	14	Руководитель	1249.3	17490.2
2	Подбор и изучение материалов по теме исследования	60	Исполнитель	94.64	5678.4
3	Постановка целей и задач	4	Исполнитель Руководитель	1249.3 94.64	4997.2 378.56
4	Составление план-графика работ по теме	5	Исполнитель Руководитель	1249.3 94.64	6246.5 473.2
5	Подготовка к разработке алгоритма (начальные условия)	18	Исполнитель Руководитель	1249.3 94.64	22487.4 1703.52

Продолжение таблицы 5.12 – Расчет основной заработной платы

6	Написание программного кода алгоритма	56	Руководитель	1249.3	69960.8
7	Исследование алгоритма, проведение расчетов	135	Исполнитель Руководитель	1249.3 94.64	168655.5 12776.4
8	Расчет ошибки алгоритма	40	Руководитель	1249.3	49972
9	Анализ полученных результатов	21	Исполнитель Руководитель	1249.3 94.64	26235.3 1987.44
10	Подготовка и оформление результатов	31	Исполнитель	94.64	2933.84
11	Сдача проекта	11	Исполнитель	94.64	1041.04
<b>Итого</b>					<b>380240.9</b>

Заработная плата:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп};$$

Где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб};$$

где  $T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 5.12);  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d};$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя);

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 5.13).

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{б}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}};$$

где  $З_{\text{б}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб. (Должностные оклады ППС и педагогических работников с 01.06.2016 г.);

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $З_{\text{б}}$ );

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы переведен в таблице 5.14.

Таблица 5.13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	561	561
Количество нерабочих дней:	186	186
– выходные дни	159	159
– праздничные дни	27	27
Потери рабочего времени	0	0
– отпуск	0	0
– невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	375	375

Таблица 5.14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{б}}$ , руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$ , руб.	$З_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб.дн.	$З_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	23100	0.3	0.2	1.3	15015	1249.3	293	36604.9
Студент	1750	0.3	0.2	1.3	1137.5	94.64	285	26972.4
							<b>Итого</b>	<b>393017.3</b>

Основная заработная плата руководителя проекта составила 393017.3 рублей, исполнителя проекта (студента) – 26972.4 рубля.

#### 5.4.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде (в среднем – 12% от суммы основной заработной платы).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн};$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы.

В таблице 5.15 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 5.15 – Заработная плата исполнителей НТИ

<b>Заработная плата</b>	<b>Руководитель</b>	<b>Студент</b>
Основная зарплата	366044.9	26972.4
Дополнительная зарплата	43925.4	3236,7
Зарплата исполнителя	409970.3	30209.1
<b>Итого по статье С<sub>зн</sub></b>	<b>440179,4</b>	

Дополнительная заработная плата руководителя проекта составила 43925.4 рублей, исполнителя проекта (студента) – 3236,7 рублей. Полная заработная плата руководителя проекта составила 409970.3 рублей, исполнителя проекта (студента) – 30209.1 рублей. Итого по статье заработная плата вышло 440179,4 рублей.

#### 5.4.5 Отчисление на социальные нужды

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитывают по формуле:

$$С_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп});$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2017 г. в соответствии с Налоговым кодексом РФ, г. 34, ст. 427 «Пониженные тарифы страховых взносов» отчисления на социальные нужды для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, будут составлять 30,2% (пенсионный фонд на обязательное пенсионное страхование 22%; фонд социального страхования 2,9%; фонд обязательного медицинского страхования 5,1%; согласно приказу МПР № 851н научные исследования и разработки в области естественных и технических наук, общероссийский классификатор видов экономической деятельности 72.1 относится к I классу профессионального риска, отчисления равны 0,2%).

Расчет отчисления на социальные нужды представлен в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Налогоплательщик	Заработная плата (Зосн+Здоп), руб	Коэффициент отчислений	Отчисления во внебюджетные фонды, руб
Руководитель	409970.3	0.302	123811.03
Студент	30209.1	0.302	9123.15
<b>Итого по статье С<sub>внеб</sub></b>			<b>132934.18</b>

Отчисления во внебюджетные фонды составили 132934.18.

#### 5.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}});$$

где  $k_{\text{накл}}=0,8$ – коэффициент накладных расходов.

Таким образом, накладные расходы равны:

$$C_{\text{накл}} = 0.8 \cdot 440179.4 = 352143.52 \text{ руб.}$$

#### 5.4.7 Итоговый бюджет научного исследования

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 5.17.

Таблица 5.17 – Расчет бюджета затрат НТИ

<b>Наименование статьи</b>	<b>Сумма, руб</b>
Материальные затраты НТИ	2121.6
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	25000
Затраты по основной заработной плате исполнительной темы	393017.3
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	47162.1
Отчисления во внебюджетные фонды	132934
Накладные расходы	352143.52
<b>Бюджет затрат НТИ</b>	<b>952378.52</b>

## **Заключение**

В ходе выполнения работы была построена карта сегментирования рынка, в которой отображены основные заинтересованные стороны в результатах проекта, а также обнаружена основная сильная сторона разработки.

Проведен краткий анализ конкурентных технических решений и комплексный анализ проекта, в котором представлены технические и экономические критерии оценки эффективности. Также проведена оценка конкурентоспособности разработки.

Построена интерактивная матрица проекта, в которой выявлены слабые и сильные стороны проекта, относительно возможностей и угроз со стороны внешнего воздействия. Несоответствия взаимосвязей проекта, помогают в выявлении необходимости проведения стратегических изменений.

В результате проведенного FAST-анализа были выявлены диспропорции между относительными затратами на функцию и ее относительной значимостью. Были предложены шаги, которые помогут снизить затраты и при этом не понизить потребительские свойства объекта.

Проведено планирование научно-исследовательских работ. Определены контрольные события проекта и их даты. Построен календарный график проведения исследования (диаграмма Ганта). Продолжительность общих работ составила 365 дней.

Рассчитан бюджет научного исследования. Подсчитаны материальные затраты научного исследования, затраты на специальное оборудование, основная и дополнительная заработные платы исполнителей проекта, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы. При этом, бюджет затрат научных исследования составляет 952378.52 рублей, из которых затраты на материалы – 2121.6 рублей, основная и дополнительная заработные платы для исполнителей проекта – 440179.4 рубля. На отчисления во внебюджетные фонды потрачено 132934.18 рублей, а на накладные расходы – 352143.52 рубля.

## **6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

Целью магистерской диссертации является разработка и исследование алгоритма кластеризации температурных данных. Данный алгоритм позволяет проводить выделения климатических кластеров в различных пространственно-временных масштабах, используя описание температурных сигналов. Объектом исследования является алгоритм, осуществляемый с помощью персонального компьютера.

Работа с алгоритмом представляется собой проведение расчетов, экспериментов, а также составление итоговых графиков. Работа выполняется в закрытом помещении (кабинет) на персональном компьютере, с помощью которого обрабатывается вся информация.

Исследования такого рода непосредственно связано с компьютером, а соответственно с дополнительными вредными воздействиями.

### **6.1 Профессиональная социальная безопасность**

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [37] перечень вредных и опасных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 6.1.



Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке и исследованию алгоритма кластеризации температурных данных

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Разработка и исследования алгоритма	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенная пульсация светового потока</li> <li>2. Повышенный уровень электромагнитных излучений</li> <li>3. Умственное перенапряжение</li> <li>4. Микроклимат</li> <li>5. Освещение</li> <li>6. Шум</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Электрический ток</li> </ol>	<p>Параметры микроклимата устанавливаются СанПин 2.2.4-548-96 [40].</p> <p>Параметры освещенности нормируются СП 52.13330-83 [39].</p> <p>Уровни ЭМП нормируются ГОСТ 12.1.006-84 [38] и СанПин 2.2.4.1191-03 [44].</p> <p>Нормы и правила пожарной безопасности установлены в № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».</p> <p>ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности – Введ. 2015–11–01. – М., 12 с.</p>

### *6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований*

Исследуемый алгоритм может быть использован только при помощи персонального компьютера, следовательно, вредные и опасные факторы, которые может создавать объект исследования непосредственно связаны с компьютером.

Компьютерные технологии, являясь прогрессивным достижением человечества, имеют отрицательные последствия для здоровья людей.

Рабочее место располагается в помещении офисного типа с ПЭВМ.

Согласно [37] для данного рабочего места можно выделить следующие вредные и опасные факторы производственной среды.

#### 1) Вредные факторы

##### а. Показатели микроклимата

Микроклимат производственных помещений – климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также интенсивности теплового излучения.

Для создания благоприятных условий работы, соответствующих физиологическим потребностям человеческого организма, санитарные нормы устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия в рабочей зоне помещения.

Работа за компьютером относится к категории работ Ia (с интенсивностью энергозатрат организма до 120 ккал/ч), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением. Оптимальные и допустимые показатели микроклимата, соответствующие данной категории работ и указанные в СанПин 2.2.4.548-96 [40], можно выделить в таблицы 6.2 и 6.3.

Таблица 6.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата

Период года	Категории тяжести работ, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый		23-25	22-26	60-40	0,1

Таблица 6.3 – допустимые величины микроклимата

Период года	Категории тяжести работ, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			
Холодный	Ia (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75	0,1
Теплый		21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75	0,1

Движение воздуха – это важный фактор, способствующий созданию наиболее благоприятных условий для жизнедеятельности человека. Вентиляция зданий имеет большое значение в оздоровлении условий труда. Она предназначена для удаления вредных выделений из рабочих помещений и подачи в них свежего воздуха. Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [40], оптимальное значение скорости движения воздуха для категории работ Ia равно 0,1 м/с. На рассматриваемом рабочем месте подвижность воздуха менее 0,1 м/с, т.к. система вентилирования отсутствует, воздух перемещается от сквозняка. Движущийся воздух способствует усилению теплоотдачи организма путем конвекции и излучения, а также созданию условий для испарения влаги с поверхностей слизистых оболочек и кожного покрова.

Для создания требуемых параметров микроклимата в производственном помещении применяют системы вентиляции и кондиционирования воздуха, а также различные отопительные устройства. Вентиляция представляет собой смену воздуха в помещении и предназначена для поддержания в нем соответствующих метеорологических условий и чистоты воздушной среды. Кондиционирование – автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха с целью обеспечения оптимальных климатических условий для ведения технологического процесса.

#### б. Освещённость рабочего места

Освещенность рабочих помещений нормируется СП 52.13330.2011 [39] в зависимости от характеристики зрительной работы, определяемой минимальным размером объекта различения, контрастом объекта с фоном и свойствами фона и СанПин 2.2.1/2.1.1.1278-03 [45] в зависимости от вида производственной деятельности. Нормируемые параметры естественного и искусственного освещения для рабочего кабинета приведены в таблице 6.4. Коэффициент пульсации – критерий глубины колебаний освещенности в результате изменений во времени светового потока [46]. Для кабинетов и рабочих комнат коэффициент пульсации не более 15 %. Пульсации

освещенности на рабочей поверхности утомляют зрение, а также может вызывать неадекватное восприятие наблюдаемого объекта за счет появления стробоскопического эффекта.

Таблица 6.4 – Нормируемые параметры естественного и искусственного освещения

Помещение	Коэффициент пульсации освещённости, $K_p$ , %, не более	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещённости ( $\Gamma$ – горизонтальная, $B$ – вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совместное освещение		Искусственное освещение		
			КЕО $e_n$ , %		КЕО $e_n$ , %		Освещённость, лк		
			При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При комбинированном освещении		При общем освещении
							всего	От общего	
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы	15	$\Gamma - 0,8$	3,0	1,0	1,8	0,6	400	200	300

Для освещения рабочего места применяется верхнее общее освещение, местное и естественное освещение. Для организации верхнего общего освещения можно использовать люстры, встроенные светильники различных конфигураций. Местное освещение необходимо для увеличения интенсивности освещения каждого отдельного рабочего места, оно может быть реализовано за счет настольных ламп, подвесных светильников над рабочим местом.

#### с. Психофизиологические вредные факторы

Нервно-психические перегрузки проявляются в форме перенапряжения и умственного перенапряжения. Перенапряжение зрительного аппарата, которое вызвано недостаточной освещенностью, необходимостью рассматривать мелкие предметы, вызывает перенапряжение мышц радужной оболочки глаз. В результате может появляться головная боль, боль в области глазниц, прогрессирующая близорукость.

#### д. Повышенный уровень шума

Шум – это совокупность аperiодических звуков различной интенсивности и частоты. С физиологической точки зрения шум – это всякий

неблагоприятно воспринимаемый звук. Источниками шума на рассматриваемом рабочем месте являются: работающее оборудование (макет устройства, проходящая рядом автомобильная дорога, идущие через перегородку аудиторные занятия). В соответствии с ГОСТ 12.1.003-2014 [50] для учреждений, в которых занимаются научной деятельностью, допустимый уровень звукового давления составляет 50 дБА. Воздействие шума на организм человека вызывает негативные изменения в органах слуха, центральной нервной системе и сердечно-сосудистой системе. Также действие шума способствует потере внимания, торможению психических реакций, что в условиях производства может привести к опасности возникновения несчастных случаев.

Уровень шума в лаборатории не выходит за допустимые уровни шума, который составляет 50 дБА для рабочих мест программистов согласно ГОСТ 12.1.003-2014

Мероприятия по устранению шума: следует соблюдать режим труда и отдыха.

#### е. Повышенный уровень электромагнитных излучений

При работе с электро- и радиотехническими устройствами и оборудованием допустимые уровни ЭМП нормируются ГОСТ 12.1.006-84 [38] и СанПин 2.2.4.1191-03 [44]. Работа с персональными электронно-вычислительными машинами нормируется СанПин 2.2.2/2.4.1340-03 [43]. Предельно допустимый уровень воздействия ЭМИ по напряженности электрического поля от 3 до 25 В/м (зависит от диапазона частот).

При непрерывном воздействии установлены ПДУ напряженности электрического поля (В/м):

Таблица 5.5 – ПДУ напряженности электрического поля

Диапазон частот, МГц	0,03-0,3	0,3-3	3-30	30 - 300	300-300 000
ПДУ напряженности электрического поля, В/м	25	15	10	3	10

При работе дисплея регистрируется слабое ультрафиолетовое, инфракрасное, микроволновое излучение, низко- и ультранизкочастотное

электромагнитное поле. Электромагнитные излучения ухудшают работу сосудов головного мозга, что вызывает ослабление памяти, остроты зрения.

Важным мероприятием по защите от излучений является оптимальная расстановка компьютеров в рабочем помещении. В помещениях должно быть совмещенное (естественное и искусственное) освещение. Осветительные установки размещают так, чтобы они обеспечивали равномерную рассеянность освещения.

## 2) Опасные факторы

### а. Электроопасность

В кабинете влажность воздуха не превышает 75 %, химически активная или органическая среда, разрушающая изоляцию и токоведущие части электрооборудования отсутствует, температура не выше 35 °С. Таким образом, согласно классификации помещений по опасности поражения людей электрическим током [47], кабинет относится к помещениям без повышенной опасности поражения людей электрическим током – это сухие, беспыльные помещения с нормальной температурой воздуха и с изолирующими полами, которые характеризуются отсутствием условий, создающих повышенную или особую опасность.

Статическое электричество – возникновение свободного электрического заряда на поверхности или внутри диэлектриков и весь комплекс связанных с этим физических явлений [48]. Источником статического электричества на рабочем месте являются компьютеры, экран монитора, электроприборы. При воздействии статического электричества на организм человека ионного состава, может наблюдаться уменьшение частоты сердечных сокращений (брадикардия) и повышение артериального давления. При воздействии статического электричества на нервные окончания может также изменяться кожная чувствительность и сосудистый тонус. Также возникают функциональные нарушения в центральной нервной системе. Появляются повышенная утомляемость, раздражительность и плохой сон.

Напряженность электрического поля является характеристикой статического электричества. Источником электрического поля на рабочем месте является персональный компьютер. Электрическое поле вызывает определенные изменения в органах и клетках человека, которые зависят от напряженности поля и длительности пребывания в нем [48].

#### *6.1.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных факторов.*

С целью предупреждения поражения электрическим током к работе должны допускаться лица, хорошо изучившие основные правила по технике безопасности.

Безопасность при работе с электроустановками обеспечивается применением различных технических и организационных мер. Основные коллективные способы и средства электрозащиты: изоляция токопроводящих частей (проводов) и ее непрерывный контроль; установка оградительных устройств; предупредительная сигнализация и блокировки; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; применение малых напряжений; защитное заземление; зануление; защитное отключение. Индивидуальные основные изолирующие электрозащитные средства способны длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановок, поэтому ими разрешается касаться токоведущих частей под напряжением. В установках до 1000 В – это диэлектрические перчатки, инструмент с изолированными рукоятками, указатели напряжения.

В целях безопасности сотрудникам запрещено самостоятельно проводить ремонт розеток, осматривать распределительный щит, пренебрегать техникой безопасности (например, не прикасаться к источнику электрического тока мокрыми руками). Также, в целях предотвращения электротравматизма запрещается:

- работать на неисправных электрических приборах и установках;
- перегружать электросеть;

- переносить и оставлять без надзора включенные электроприборы;
- работать вблизи открытых частей электроустановок, прикасаться к ним;

- загромождать подходы к электрическим устройствам.

Работники офисных помещений обязаны соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения.

## **6.2 Экологическая безопасность**

### *6.2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду*

При выполнении проектных работ или эксплуатации оборудования действующим природоохранным законодательством предусмотрены мероприятия по охране окружающей среды. При этом анализируются возможные источники вредных воздействий техногенной деятельности при разработке и реализации ВКР на различные природные среды окружающей среды.

#### ***Защита атмосферы***

В процессе выполнения и дальнейшей эксплуатации разрабатываемого алгоритма поступление вредных загрязняющих атмосферный воздух веществ не происходит

#### ***Защита гидросферы***

Объект исследования негативного воздействия на гидросферу не оказывает.

#### ***Защита литосферы***

Во время работы образуются следующие виды твердых отходов, которые оказывают неблагоприятное воздействие на литосферу: офисная бумага, различные канцелярские принадлежности и детали ПЭВМ. Все отходы выбрасываются в общий мусорный контейнер, макулатура собирается и сдается в приемные пункты.

### *6.2.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды*



Для уменьшения нагрузки на полигоны целесообразно ввести отдельный сбор мусора. Бумагу можно использовать повторно. Люминесцентные лампы содержат ртуть и потому должны утилизироваться на специальных полигонах токсичных отходов.

### **6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайные ситуации – это происшествия техногенного, экологического происхождения, которые заключаются в резком отклонении от нормы протекающих процессов или явлений и оказывающих значительное отрицательное воздействие на жизнедеятельность человека, функционирование экономики, социальную и природную среду.

*6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований*

К ЧС природного характера, свойственных климатической зоне г. Томска, относятся ураганы, сильные грозы, паводки и ливни. Рабочее место располагается в отдаленной зоне от разлива реки, следовательно, паводковые явления не наблюдаются.

В результате штормовых порывов ветра могут быть обрывы линий электропередач, из-за чего возможны перебои в электроснабжении, перегрузки, которые могут стать причиной пожара.

К возможным техногенным ЧС в офисных помещениях можно отнести пожар. Основными причинами пожара являются: нарушение технологического режима и мер пожарной безопасности (курение, разведение открытого огня, применение неисправного оборудования и т.п.). Основными опасными факторами пожара являются тепловое излучение, высокая температура, отравляющее действие дыма (продуктов сгорания: окиси углерода и др.) и снижение видимости при задымлении.

Одной из основных причин гибели людей при пожаре является не огонь и температура, а токсичные продукты горения. Поэтому противоподымная защита зданий, направленная на предотвращение или ограничение опасности

задымления эвакуационных путей и зданий, отдельных помещений и удаление продуктов горения в определенном направлении, является первостепенной задачей противопожарной профилактики. В надлежащих местах должны быть вывешены планы эвакуации людей из здания.

Рабочее место по функциональной пожарной опасности относится к классу Ф4.2 (здания образовательных учреждений высшего профессионального образования и дополнительного профессионального образования (повышение квалификации) специалистов).

#### *6.3.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС*

Для предупреждения пожаров от короткого замыкания, перегрузок, необходимы правильный выбор, монтаж и соблюдение требуемого режима эксплуатации электросетей, дисплеев и других электрических средств автоматизации.

Мероприятия, необходимые для предупреждения пожаров:

- проведение противопожарного инструктажа;
- соблюдение норм, правил при установке оборудования, освещения,
- направленных на предупреждение возникновения пожара;
- эксплуатация оборудования в соответствии с техническим паспортом;
- рациональное размещение оборудования на рабочем месте;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования;
- запрещение курения в неустановленном месте.

Своевременное обнаружение пожара может достигаться оснащением производственных и бытовых помещений системами автоматической пожарной сигнализации или, в отдельных случаях, с помощью организационных мер. Первоначальное тушение пожара (до прибытия вызванных сил) успешно

проводится на тех объектах, которые оснащены автоматическими установками тушения пожара. При обнаружении возгорания действовать необходимо быстро, используя все доступные способы для тушения огня. Если потушить огонь в кратчайшее время невозможно, вызовите пожарную охрану организации (при её наличии) или города. При эвакуации горящие помещения и задымленные места проходить следует быстро, задержав дыхание, защитив нос и рот влажной плотной тканью. В сильно задымленном помещении передвигаться следует ползком или пригнувшись.

## **6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### *6.4.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства*

При допуске к работе, работник должен пройти инструктажи для своей же безопасности: вводный, первичный на рабочем месте, повторный, внеплановый и текущий.

Правила по охране труда – это огромный массив документов, актов и норм, в которых установлены правила обязательные к выполнению на всех этапах промышленных и производственных процессов. Такие правила регулируют отношения между работодателем и сотрудником, а также предусматривают все необходимые нормы для безопасного и продуктивного выполнения трудовых обязанностей. Правила по охране труда охватывают также нормы по эксплуатации оборудования, хранения вредной для здоровья, взрывоопасной и прочей продукции, утилизации отходов и прочее.

Охрана труда является неотъемлемой частью в абсолютно любой сфере трудовой деятельности. Это четкие инструкции и правила, соблюдение которых влияет на здоровье всех служащих и рабочих, а также на продуктивность производства. Определенные инструкции по охране труда варьируются в зависимости от направления и особенностей производства. Все пункты инструкций предусмотрены законодательно и обязательны к выполнению. Лица,

допустившие невыполнение или нарушение инструкций по охране труда, привлекаются к дисциплинарной ответственности в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и, при необходимости, подвергаются внеочередной проверке знаний и норм и правил охраны труда.

В соответствии со ст. 91 гл. 15 раздела IV ТК РФ нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю. Согласно ст. 100 гл. 16 раздела IV ТК РФ режим рабочего времени должен предусматривать продолжительность рабочей недели (шестидневная с одним выходным днем).

Руководствуясь трудовым законодательством, режим труда и отдыха предусматривают с учетом специфики труда всех работающих, в первую очередь обеспечивают оптимальные режимы работающих, с повышением физическими и нервно-эмоциональными нагрузками, в условиях монотонности и с воздействием опасных и вредных производственных факторов.

На основании ст. 217 гл. 35 раздела X в целях обеспечения соблюдения требований охраны труда, осуществления контроля за их выполнением в каждой организации, осуществляющей производственную деятельность, с численностью более 100 работников создается служба охраны труда или вводится должность специалиста по охране труда, имеющего соответствующую подготовку или опыт работы в этой области.

Федеральный государственный надзор труда осуществляется Федеральной инспекцией труда, состоящей из Федеральной службы по труду и занятости и ее территориальных органов (государственных инспекций труда) в соответствии с ратифицированными Российской Федерацией конвенциями Международной организации труда по вопросам инспекции труда, Трудовым кодексом Российской Федерации, другими федеральными законами и иными решениями Правительства Российской Федерации.

#### *6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны*

Одной из причин ухудшения здоровья у операторов компьютеров является низкое качество мониторов. Важным мероприятием по защите от излучений является оптимальная расстановка компьютеров в рабочем помещении.

Согласно СанПин 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы», рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм. В ногах должна быть подставка с рельефной поверхностью.

Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ на базе дискретных экранов – 4,5 м<sup>2</sup>. При размещении рабочих мест расстояние между рабочими столами с видеомониторами должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600–700 мм, но не ближе 500 мм.

К монитору предъявляют следующие требования:

- 1) его размер должен быть не менее 13 дюймов (31 см) по диагонали;
- 2) он должен иметь антибликовое покрытие;
- 3) дрожание на дисплее должно находиться в пределах 0,1 мм.
- 4) контрастность изображения должна составлять не менее 0,8.

Продолжительность непосредственной работы с компьютером зависит от наличия навыков и тяжести работы и составляет: 6 часов с перерывом 20 мин через каждые 2 ч.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю, или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

Помещения, где располагаются рабочие места с ПЭВМ должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями эксплуатации.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Если в помещении находится принтер или ксерокс, необходимо учитывать необходимое расстояние перед техникой и позади нее, а именно 600 мм позади и 1000 мм перед техникой. (СанПин 2.2.2.1332-03 «Гигиенические требования к организации работы на копировально-множительной работе»).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертации были получены следующие результаты:

1. Создан алгоритм оценки климато-экологических параметров, которые позволяет объективно и оперативно определять границы климатических кластеров. Для построения климатических кластеров достаточно данных о значениях приземных температур, осредненных за месяц и полученных на распределённой сети метеостанций.

2. Проведено численное исследование разработанного алгоритма кластеризации. В результате численного эксперимента было показано, что алгоритм климатической группировки устойчив к аддитивному шуму и способен восстанавливать исходные сигналы при шуме достигающем уровень 70 % с ошибкой не превышающей 50 %, что обеспечивает возможность применения данного алгоритма для анализа натуральных климатических сигналов.

3. При построение карт регионального распределения на основе данных о приземной температуре 818 температурных сигналов структурировались в 17 климатических кластеров. Результаты проведенного исследования показывают, что различные структурные составляющие климатической системы по-разному реагируют на одно и то же глобальное энергетическое воздействие (аккумулируют энергию, изменяют ее, пропускают без изменений), что дает возможность климатической системе самоорганизовываться – получая через локальную неоднородность отдельных климатических параметров устойчивость геосистемы в целом.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. **Плотникова В.В.** Мониторинг региональных климато-экологических особенностей территории [Электронный ресурс] / В.В. Плотникова, Ю.В. Волков // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Юрга, 23-25 ноября 2017 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Юргинский технологический институт (ЮТИ) ; под ред. Д. А. Чинахова [и др.]. — Томск: Изд-во ТПУ, 2017. — [С. 378 – 383]. — Заглавие с экрана. — Свободный доступ из сети Интернет.

Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/46639>



## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Метрология и климатология: учебник. – 7-е изд. / С.П. Хромов, М.А. Петросянц. –М.: Изд-во Моск. Ун-та: Наука, 2006. – 582 с.
2. J. Shukla, R. Hagedorn, B. Hoskins. Revolution climate prediction is both necessary and possible. // American meteorological society, 2009, p. 175 – 178.
3. В.П. Дымников, В.Н. Лысков, Е.М. Володин. Моделирование климата и его изменений: современные проблемы. // Вестник Российской академии наук, 2012, том 82, №3, с. 227 – 236.
4. Б.Г. Шерстюков. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. – Обнинск: ГУ ВНИИГМИ-МЦД, 2008. – 300 с.
5. Дымников В.П., Лысков В.Н., Володин Е.М., Галин В.Я., Глазунов А.В., Грицун А.С., Дианский Н.А., Толстых М.А., Чавро А.И. Моделирование климата и его изменений. – В: «Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования», М.: Наука, 2005, т. 2, с. 38-175.
6. Математическое моделирование климата Сибири. В.И. Кузин, В.Н. Крупчатников, А.И. Крылова, А.А. Фоменко. Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск. Вычислительные технологии том 11 часть 2 специальный выпуск 2006.
7. В.А. Говоркова, Е.Д. Надежина, Т.В. Павлова, И.М. Школьник. Модели, предназначенные для оценки будущих изменений климата.
8. М.А. Толстых. Глобальные модели атмосферы: современное состояние и перспективы развития. // Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ.
9. А.В. Фролов. Климатология: история и современность. // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2015. // URL: [http://downloads.igce.ru/journals/FAC/FAC\\_2015/FAC\\_2015\\_1/Frolov\\_A\\_V.pdf](http://downloads.igce.ru/journals/FAC/FAC_2015/FAC_2015_1/Frolov_A_V.pdf).

10. Jung T., Miller M.J., Palmer T.N. et al. High-resolution global climate simulations with the ECMWF model in Project Athena: Experimental design, model climate, and seasonal forecast skill // J. Climate. – 2012. – Vol. 25, No. 9. – P. 3155–3172.
11. ECMWF. WMO Lea Centre for Deterministic Forecast Verification (WMO – LCDNV). // URL: <http://apps.ecmwf.int/wmolcdnv/>.
12. Zängl G., Reinert D., Ripodas P., Baldauf M. The ICON (ICOsahedral Non-hydrostatic) modelling framework of DWD and MPI-M: Description of the non-hydrostatic dynamical core // Q. J. Roy. Meteorol. Soc. – 2015. – Vol. 141. – P. 563–579.
13. NCEP GFS. –URL: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/moorthi/gam.html>.
14. Qaddouri A., Lee V. The Canadian Global Environmental Multiscale model on the Yin-Yang grid system // Q. J. Roy. Meteorol. Soc. – 2011. – Vol. 137. – P. 1913–1926.
15. Byron A. Boville and Peter R. Gent. The NCAR Climate System Model, Version One/ // National Center for Atmospheric Research. – URL: <https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/1520-0442%281998%29011%3C1115%3ATNCSMV%3E2.0.CO%3B2>.
16. Description of the NCAR Community Atmosphere Model (CAM 5.0) NCAR TECHNICAL NOTE NCAR/TN-486+STR. June 2010. – [http://www.cesm.ucar.edu/models/cesm1.2/cam/docs/description/cam5\\_desc.pdf](http://www.cesm.ucar.edu/models/cesm1.2/cam/docs/description/cam5_desc.pdf).
17. *Salmond D., Hamrud M.* IFS scalability and computational efficiency // 14th ECMWF Workshop on Use of High Performance Computing in Meteorology, 1–5 November 2010. – [http://www.ecmwf.int/newsevents/meetings/workshops/2010/high\\_performance\\_computing\\_14th/presentations/Salmond\\_Hamrud.pdf](http://www.ecmwf.int/newsevents/meetings/workshops/2010/high_performance_computing_14th/presentations/Salmond_Hamrud.pdf).

18. Hortal M. Aspects of the numerics of the ECMWF model // Recent developments in numerical methods for atmospheric modelling. – Procs. of the ECMWF Seminar 7–11 September 1998. – Reading, UK: 1999. – P. 50.
19. Е.М. Володин, Н.А. Дианский . Моделирование изменений климата в XX–XXII столетиях с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана. – ИВМ РАН, 2006г.
20. Толстых М.А. Глобальная полулагранжева модель численного прогноза погоды. – М; Обнинск: ОАО ФОР, 2010. – 111 с.
21. Е.М. Володин, Н.А. Дианский, А.В. Гусев. Воспроизведение современного климата с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана INMCM 4.0. – Известия РАН. – Физика атмосферы и океана, 2010, том 46, № 4, с. 448 – 466.
22. Е.М. Володин Воспроизведение современного климата. Сравнение с данными наблюдений и других моделей.
23. Кокорев В.А., Шерстюков А.Б. О метеорологических данных для изучения современных и будущих изменений климата на территории России
24. Ветрова Е.И., Скриптунова Е.Н., Шакина Н.П. Прогноз низкой облачности на аэродромах европейской территории бывшего СССР // Метеорология и гидрология. – 2013. – №1. – с. 12 – 31.
25. Овечкина С.В., Майнашева Г.М. Опыт использования кластерного анализа при климатическом районировании Московской области // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. – 2010. – №2 (6). – с. 65 – 74.
26. Кирста Ю.Б., Курепина Н.Ю., Ловцкая О.В. Пространственная декомпозиция метеорологических полей Евразии: разделение воздействия растительности и антропогенной деятельности // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5. – с. 1030 – 1036.
27. Ботыгин И.А., Катаев С.Г., Шерстнёв В.С., Шерстнёва А.И. Методы классификации и анализа климатических полей // Интернет-журнал

«НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/74TVN615.pdf>  
(доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/74TVN615.

28. А. Котов, Н. Красильников Кластеризация данных. – 2006.
29. Архив Университета Восточной Англии [Электронный ресурс].  
URL: <http://www.metoffice.gov.uk>, <http://www.cru.uea.ac.uk>.
30. Gabor D. Theory of communication // Journal of IEE. 1946. V. 3. Pt. 3. PP. 429-441.
31. Вакман Д.Е., Вайнштейн Л.А. Амплитуда, фаза, частота – основные понятия теории колебаний // Успехи физ. наук. 1977. Т. 123. Вып. 4. С. 657–682.
32. Zhang X., Yan X. Spatiotemporal change in geographical distribution of global climate types in the context of climate warming // Clim Dyn. 2014. V. 43. P. 595–605.
33. Тартаковский В.А., Крутиков В.А., Волков Ю.В., Чередыко Н.Н. Классификация климатов Северного полушария на основе оценки фазы температурного сигнала // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 8. С. 625-632+1вкл.
34. Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification // Hydrology and Earth System Sciences. 2007. V. 11. P. 1633-1644.
35. Rohli R.V., Joyner T.A., Reynolds St. J., Shaw C., Vazquez J.R. Globally Extended Köppen–Geiger climate classification and temporal shifts in terrestrial climatic types // Physical Geography. 2015. V. 36. Is. 2. PP. 142-157.
36. Franziska H., Körper J., Spangehl T., Cubasch Ul. Shifts of climate zones in multi-model climate change experiments using the Köppen climate classification // Meteorologische Zeitschrift. 2012. V. 21. № 2. P. 111-123.
37. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация – Введ. 1976-01-01. – М., 1976.

38. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению. – Введ. 1986-01-01.
39. СП 52.13330.2011. Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 (утв. Приказом Минрегиона РФ от 27.12.2010 N783) – Введ. 2011-05-20. – М., 2011.
40. СанПин 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений – введ 1.10.1996.
41. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: федер. закон. – М., 2008.
42. Об утверждении типовых отраслевых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам химических производств: постановление Минтруда РФ от 22.07.1999 г. №26 // Бюллетене Министерства труда и социального развития РФ. – 1999 г., №9.
43. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы – Введ. 2003-06-30. – М., 2003.
44. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях – Введ. 2003-05-01. – М., 2003.
45. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий – Введ. 2003-06-15. – М., 2003.
46. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. – 7-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2007. – 616 с.: ил.
47. Правила устройства электроустановок: утв приказом Минэнерго РФ от 08.07.2002 г. № 204. – М., 543 с.

48. Статическое электричество и здоровье [Электронный ресурс]: портал Компьютер и здоровье. – М., 2003-2015. Режим доступа: <http://comp-doctor.ru/sovet/staticheskoe-elektrichestvo.php>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 05.06.2015).

49. Воздействие электромагнитного поля на персонал [Электронный ресурс]: портал Электроэнергетика. – Режим доступа: <http://forca.ru/knigi/arhivy/remont-vl-pod-napryazheniem-8.html>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения 05.06.2015).

50. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности – Введ. 2015–11–01. – М., 12 с.

## Приложение А

### Раздел 1

#### Review of methods of studying and modeling climate

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ61	Плотникова Вероника Викторовна		

Консультант отделения контроля и диагностики

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Волков Юрий Викторович	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Демьяненко Наталия Владимировна			

# **1 REVIEW OF METHODS OF STUDYING AND MODELING CLIMATE**

Radiant heat exchange is the process of energy transfer from one body to another by means of electromagnetic radiation. Radiant energy is the energy of electromagnetic oscillations with different wavelengths that emanate from the body and propagate in vacuum with the speed of light  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m / s}$ . Usually, the so-called thermal radiation is considered, to which wavelengths from 0.4 to 40 microns correspond.

When radiant energy hits a body, only a portion of that energy is absorbed; the other part is reflected, and some part passes through the body. The bodies absorbing all the radiant energy incident on them are called absolutely black. The bodies that completely reflect the radiant energy incident on them are called absolutely white, and the bodies that let all the energy that falls on them are absolutely transparent. Absolutely black, white and transparent bodies do not exist in nature. Practically transparent bodies are mono- and diatomic gases - air, nitrogen, oxygen, hydrogen, etc. Solid bodies and liquids for thermal rays are opaque.

Absorption and reflection of radiant energy by solids largely depends on the state of their surface: smooth and polished surfaces have a high reflectivity; rough surfaces, on the contrary, have a high absorptive capacity. The radiation of different bodies is different. It depends on the nature of the body, temperature, surface state, and for gases - even on the layer thickness and pressure. Most of the solid and liquid bodies encountered in nature and technology have a significant absorption and emissivity. As a consequence, only thin surface layers participate in the processes of radiant heat transfer.

The intensity of heat transfer by thermal conductivity and convection is proportional to temperature, and the radiant heat flux is proportional to the fourth power of temperature and obeys the Stefan-Boltzmann law

$$q = \sigma A(T_1^4 - T_2^4), \quad (2.1)$$



where  $q$  is the heat flux (in joules per second, ie in  $W$ ),  $A$  is the surface area of the radiating body, and  $T_1$  and  $T_2$  are the temperatures (in kelvins) of the radiating body and the environment absorbing this radiation. The coefficient  $\sigma$  is called the Stefan-Boltzmann constant and is equal to  $(5.66961 \cdot 0.00096) \cdot 10^{-8} W / (m^2 \cdot K^4)$ .

The presented law of thermal radiation is valid only for an ideal radiator - the so-called absolutely black body. No real body is such, although the flat black surface in its properties approaches the absolutely black body. Light surfaces, however, emit relatively weakly. In order to take into account the deviation from the ideality of the numerous "gray" bodies, a coefficient less than one, called emissivity, is introduced into the right side of the expression describing the Stefan-Boltzmann law.

A powerful radiator of thermal energy is the Sun; it heats the Earth even at a distance of 150 million km. The intensity of solar radiation recorded year after year by stations located at many points of the globe is about  $1.37 W / m^2$ . Solar energy is the source of life on Earth.

In any place of the earth, weather changes in different years differently. However, at all distinctions of separate days, months and years each area can be characterized quite certain climate. Local climate means a set of atmospheric conditions for a long-term period, which is inherent in this locality, depending on its geographical situation. The geographical situation is understood not only as position of the area (width, longitude and height above sea level), but also character of the land surface, orography, a soil cover, etc. Atmospheric conditions, which define climate of each place, experience periodic changes in the annual course – from winter by summer and from summer by winter. Except periodic changes, the set of atmospheric conditions changes a little year by year [1].

Energy source of atmospheric processes is the solar radiation (solar radiation) that comes to Earth from the global space from the Sun. The amount of heat produced in an average year, the unit area of the earth's surface from the Sun, 30,000 times more than the heat coming from the bowels of the Earth, and 30 million times more than the energy from the radiation of stars and planets. Therefore, solar energy is practically the

only source of energy for the earth's surface and atmosphere. That is the radiant energy of the Sun transformed in the atmosphere and on the earth's surface into heat, she also serves as a source of energy of atmospheric movements is transformed into other forms of energy.

Energy source of atmospheric processes is the solar radiation (solar radiation) that comes to Earth from the global space from the Sun. The amount of heat produced in an average year, the unit area of the earth's surface from the Sun, 30,000 times more than the heat coming from the bowels of the Earth, and 30 million times more than the energy from the radiation of stars and planets. Therefore, solar energy is practically the only source of energy for the earth's surface and atmosphere. That is the radiant energy of the Sun transformed in the atmosphere and on the earth's surface into heat, she also serves as a source of energy of atmospheric movements is transformed into other forms of energy.

Direct solar radiation passing through the atmosphere and scattered radiation, falling on the earth's surface, are partly reflected from it, but are mostly absorbed by it and heat up the upper layers of the soil and reservoirs. The earth's surface itself emits invisible infrared radiation, which is mostly absorbed by the atmosphere, and heats up. The atmosphere in turn emits infrared radiation, most of which is absorbed by the earth's surface. At the same time, terrestrial and atmospheric radiation is continuously radiated into the world space and, together with reflected solar radiation, balances the inflow of solar radiation to the Earth.

With the other part of the radiant energy that enters the atmosphere, a whole series of transformations take place, the result of which is the heating of the earth's surface and atmosphere [1]. Part of the solar radiation is visible light. Thus, the Sun is for the Earth a source of not only heat, but also light, important for life on our planet. The radiant energy of the Sun is converted into heat partially in the atmosphere itself, but mainly on the earth's surface,

### **1.1. Climate and weather**

Often the climate is understood some characteristics of the part of the trajectory of climatic system, which passes for a certain period.

The climate of the zone. Depending on temperature conditions, the prevailing air masses and winds mark out climatic zones. The climate is determined by the incoming radiant energy of the Sun on the underlying surface and in the atmosphere, as well as by the differences due to the distribution of land and ocean. Climate factors subdivide on conducting and conducted. Leading include radiation and circulation factors, and to the followers - orographic and the nature of the underlying surface.

Weather and climate are interconnected. In the atmosphere, there are various physical processes that continuously change its state. Weather is called the physical condition of the atmosphere at the land surface and in the lower 30–40 km of time at present [1]. The weather is characterized by such meteorological values as temperature, pressure, humidity, wind, cloudiness, atmospheric precipitation. The main reasons of variability of weather – change of amount of solar heat, which turns out within a day and within a year, movement of air masses, cyclones and anti-cyclones.

Atmospheric precipitation is that amount of water in the liquid or firm form which is dropping out on the Earth's surface.

The air temperature is measured at meteorological stations several times a day, after which the average daily, average monthly or annual average temperatures are displayed. Average daily temperature represents so-so arithmetic temperatures measured within a day at regular intervals. Average monthly temperature – an arithmetic average of all average daily temperatures within a month, average annual – an arithmetic average of all average daily temperatures within a year. Since any strong temperature fluctuations are leveled by averaging, therefore, the average temperatures in one locality for each month and year remain approximately constant. Increase in average temperature by several tenth degrees makes considerable impact on climate as together with temperature also all other elements of weather change.

Relative humidity shows percentage of amount of water vapor in air to that quantity which is airborne at saturation.

The environment around us is constantly changing. The climate, and especially temperature, precipitation, their intra-annual distribution changes also. This is due to significant changes in climate-forming factors.

### **1.2. Natural and human contributions to climate change**

From the above it follows that in recent decades, the climate is changing and with increasing speed. However, the issue of the causes of modern global warming is not fully resolved. In recent decades, human impact has made a significant contribution to change. First of all, it includes the burning of fossil fuels, which leads to a change in the concentration of carbon dioxide in the atmosphere, deforestation, leading to a change in the albedo and the process of desertification, and many other effects.

Climate scientists, in their research, associate this with anthropogenic impact on the environment, namely due to the increase in the concentration of CO<sub>2</sub>, methane and other greenhouse gases in the atmosphere. The accumulation of greenhouse gases in the atmosphere leads to the absorption of infrared thermal radiation from the surface of the Earth, heated by solar energy. The main contributor to climate change is the intensification of human activities, primarily fossil fuel combustion and land-use change. These processes change the concentration of gases and aerosols that make up the atmosphere, which absorb or dissipate radiation energy. In considering the age-old climate variability, it can be said that it was the accumulation of greenhouse gases in the atmosphere that determined the increase in the global mean temperature by 0.6 °C [2].

Of all the greenhouse gases the greatest influence on the climate has a rising concentration of CO<sub>2</sub> when burning different fuels. Carbon dioxide significantly weakens the outgoing long wave radiation, which creates a greenhouse effect in the atmosphere. There is also natural carbon dioxide, which occurs in volcanic eruptions. Half of the carbon dioxide emissions are absorbed by oceans and land. In addition to carbon dioxide, greenhouse gases also include methane. The supply of this gas is due to surface and submarine eruptions of volcanoes; lacustrine-marsh systems; processes of oil and gas production; agricultural human activity. Methane's ability to absorb

infrared radiation is 21 times higher than that of carbon dioxide, and therefore accounting for the increase in its concentration is extremely important.

However, it is not necessary to base an explanation of current and future climate changes on an anthropogenic factor alone.

In the earth's orbit, solar energy flow, the presence of greenhouse gases in the atmosphere, volcanic eruptions and oscillatory processes in the climate system.

The most significant manifestation of their variability in the climate system of the Earth should include such things as, El Niño – southern oscillation, North Atlantic oscillation, Arctic oscillation. These phenomena have a significant impact on the current state of the atmosphere and the ocean and can change their intensity and recurrence against the backdrop of climate change.

In rare cases, there is a statement about the complete absence of anthropogenic influence on the climate, and it is also rare that all climate changes are associated with anthropogenic impact. In most cases, the complex of natural and anthropogenic factors that determine the current state of the climate is considered.

### **1.3. Climate system**

According to the definition, the climatic system of the planet consists of the following interacting components: the atmosphere is the gas shell of the Earth, which affects the transfer of solar radiation to the Earth's surface; ocean - the main water reservoir, consisting of the waters of the World Ocean and the adjacent seas, absorbs the bulk of the solar radiation that enters the surface of the Earth; land - the surface of the continents with its hydrological system, soil and permafrost; cryosphere - continental and sea ice, mountain glaciers and snow cover; biosphere - vegetation on land and in the ocean, and also living organisms, including humans [3].

Mathematically, climate is defined as a statistical aggregate of States accepted by the climate system over a sufficiently long period of time. Important quantitative indicators of the climate system are surface characteristics of the atmosphere, such as temperature, humidity, precipitation, wind, etc.

### **1.4. Features of the climate system as a physical object**

The climate system has a number of specific features.

1. The main components of the system-atmosphere and ocean – from geometric positions can be considered as thin films, since the ratio of vertical to horizontal scale is about 0.01 - 0.001. Thus, the system is quasi-two-dimensional. The characteristic time scales of energetic physical processes range from 1 hour to tens and hundreds of years. All this leads to the fact that laboratory modeling of such a system is extremely difficult.

2. With the climate system, it is impossible to put a targeted physical experiment. To study the climate of the real climate system, only a few decades of data are available, during which fairly full-scale measurements were carried out. We can only estimate the differences between conditions of climatic parameters for different time intervals within the limits of available data.

3. We have at our disposal only a short series of observations, and only a few components of the climate system. However, even the above allow us to conclude that the main means of studying the climate system is mathematical modeling.

### **1.5. The prediction of climate change**

If the climate changes that occur are of anthropogenic origin, they will undoubtedly be aggravated with an increase in the anthropogenic load together with the development of mankind. In this regard, the task of forecasting climate change for decades to come is of particular importance. For complete forecast climate, you must add the forecast of the natural climate change that require adjustments.

All predictions of climate change are based on modern climate models. The model describes the climate system, which includes the atmosphere – ocean – land – cryosphere – biota. The model should reproduce all the characteristics of the real climate system.

The model does not provide an accurate forecast of future climate change, it allows you to assess the possible scenarios of climate change [4].

The main objective of the study of the climate system is to predict its evolution. The initial state of the climate system cannot be accurately known and the probability

of error increases during the prediction process. The atmosphere is the most unstable and rapidly changing component of the system. Therefore, the forecast of its evolution from a given initial state cannot be long-term.

In order to make a weather forecast, it is necessary to simulate the dynamics of the atmosphere and the physical processes that occur. Climate system modelling is limited by the fact that the atmosphere is chaotic. It is impossible to obtain a completely accurate initial state of the atmosphere, which is the cause of the initial level of uncertainty in all models.

### **1.6. Description of global climate models**

The established physical laws are the cornerstone of all climatic models. Climate models are able to reproduce the important characteristics of the modern climate, as well as the climate of the past and their evolution in time.

By means of complex models of climate reliable estimates of interrelations of these components of climatic system and the forecast of climate changes can be received. The accuracy of the complex model will depend on the accuracy of the local models.

The modern model of the General circulation of the atmosphere and ocean is the basis of modern climate models, and the Central direction of their development is an increasingly accurate description of all physical processes that are involved in the formation of climate.

In order for the description of the response of the climate model to be correct for small external influences, it is necessary to reproduce well not only the climate itself, but also the probability of transition from one state of the climate system to another.

At creation of modern models of climate lean on a number of the principles. It is assumed that the Navier – Stokes equations for compressible fluid are valid for describing the dynamics of the atmosphere and ocean. In modern models, Reynolds equations defined by some spatial and temporal scales of the Navier – Stokes equation are used, it is believed that there is a fundamental possibility of their closure. The

procedure of short circuit assumes that effects of processes of subnet scales can be expressed through characteristics of processes of big scales. These processes include: radiation transfer; convection, turbulence in the boundary layers; wave resistance; small-scale dissipation and diffusion; transfer of heat, moisture, methane and other gases in the active layer of the land, including in the presence of water [5].

In General, the mathematical implementation of the regional model does not differ from the global one. Its peculiarity lies in the necessity of setting side boundary conditions, which provide interaction with the global model [6].

In the variety of climate models that are used today in studies of climate change, there are four classes: 1) simple climate models (two-dimensional, one-dimensional); 2) models of intermediate complexity; 3) models of the General circulation of the atmosphere with simplified descriptions of the upper mixed layer of ocean and sea ice; 4) complex three-dimensional models of the joint circulation of the atmosphere and ocean, which occupy the highest level in the hierarchy of climate models.

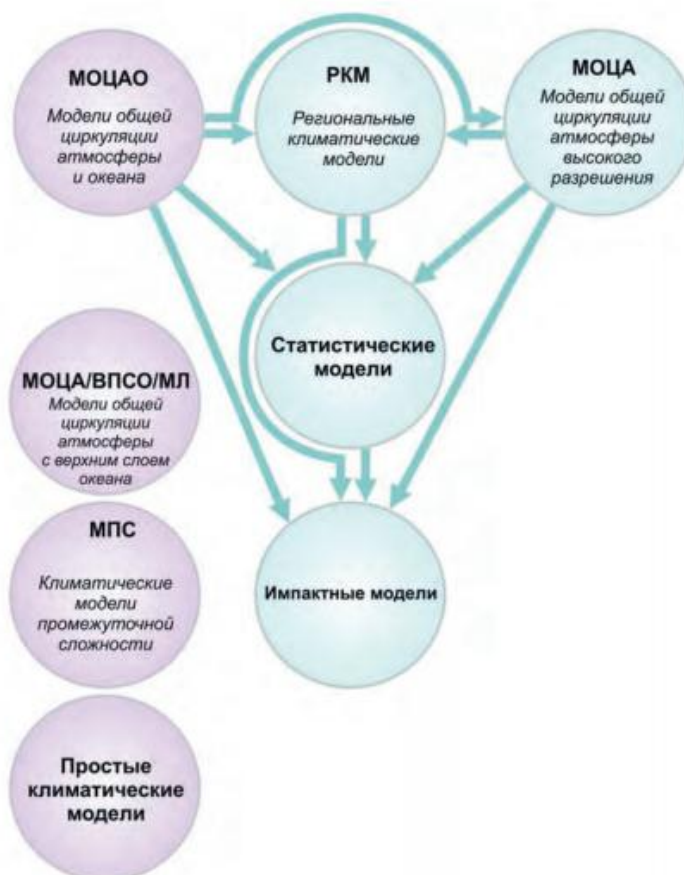


Figure 2.1 - Hierarchy of modern climate models



Simple models whose parameters are selected according to the calculations of climate change by means of the IOCs can be used, for example, to assess the impact of greenhouse gas emissions on the climate. Models of intermediate complexity are useful in the study of individual physical processes, their interactions and feedbacks between them. The main advantage of models that are at lower levels of the hierarchy is their high computational efficiency.

Modern MGCAO includes interactive models of the atmosphere, ocean, active layer of the land, cryosphere and biosphere as the main components.

Three-dimensional regional models (RCMS) have a resolution of about 10 km and the dimensions of the model area to the subcontinent. These models improve the quality of climate calculations due to a more realistic representation of the inhomogeneities of the underlying surface. Depending on the task, the initial conditions are given in the form of fields of atmospheric quantities calculated in MGCAO or obtained from reanalysis. Usually RCM undergoes a complex calibration and testing procedure before it can be applied to a specific region [7].

### **1.7. Mathematical models of climate change**

Few countries are developing their own climate modelling technologies for the global atmosphere. In fact, the physical processes of atmospheric phenomena are quite complex and not fully understood [8].

In the future, the development of atmospheric models occurred along with increasing resolution, in the direction of increasing complexity parametric description of atmospheric processes (eg, outgoing and incoming radiation, precipitation).

The first methods of climate research is the use of models of General circulation of the atmosphere, based on the Navier-Stokes equations written in a spherical coordinate system, taking into account the non-dibatical processes of energy transfer. One of the first global climate models was created by a group of scientists in the United States. Using this model, a numerical experiment was performed to assess the response of the climate system to changes in the concentration of greenhouse gases in the atmosphere.

Further climate models were replenished with blocks of the General circulation of ocean, sea ice, hydrology of land and photochemical processes in the atmosphere.

In Russia, global models of the climate system are created and developed at the Institute of computational mathematics and the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikova Of Roshydromet. By means of these models investigate physical processes of formation of climate, estimate a contribution of various factors, including activity of the person, at variability and change of modern climate.

In process of the accumulated scientific knowledge, opinions that climate changes in some regions can have adverse effects for the population, for natural and economic systems began to appear. An intergovernmental panel on climate change (IPCC) was organized jointly by the world meteorological organization and the United Nations environment Programme to prepare scientific reports on observed and expected climate change and its possible impacts on human beings, nature and the world economy. In the work of the IPCC involves 195 countries. The main information products of the IPCC are assessment reports, which are issued periodically (once in 5-7 years) and contain a synthesis of data on how the global climate is changing and will change, what are the consequences of these changes for natural and socio-economic systems [9].

Only about a dozen countries in the world develop their own technologies for modeling the global atmosphere (USA, England, Canada. France, Japan, Germany, Australia, China and Russia). Due to the limited computational resources, the spatial resolution of such models is not sufficient to describe some processes directly (e.g. deep convection), so such processes need to be described parametrically, knowing only the characteristics of the atmosphere at the scale of the characteristic mesh size (currently about 10 km horizontally).

Climate modelling started to develop a few decades ago. At first, climate models were actually global models of the atmosphere with a fixed surface temperature of the ocean. In the future, climate models developed in the direction of greater complexity, they gradually connected models of ocean, soil, sea ice, etc. [8].

With the development of atmospheric models and the progress of computing technology, it is increasingly clear that with the improvement of parametrizations of subgrid scale processes and the increase of spatial resolution of the model climate error are reduced.

This is confirmed by the results of the comparison of models of the Earth system CMIP3 (2007) and CMIP5 (2013). Also, in recent decades, the level of errors in the numerical weather forecast has been gradually decreasing [11].

#### ***Global climate model (ICON-IAP-Germany)***

The discretization of the model equations of ICON is performed on an icosahedral-triangular Arakawa-C grid. The mass points are located in the circumcenter of each triangular cell, and the edge-normal horizontal velocity component is defined at the edge midpoints. The grid generation is based on the successive refinement of a spherical icosahedron. In the so-called root division step, the edges of each basic triangle are divided into  $n$  equal arcs [12].

#### ***Atmospheric model GFS (NCEP-USA)***

In the American National center of forecasts of the environment the spectral semi-Lagrangian GFS model with the semi-implicit scheme of integration on time is applied. The resolution of this model is approximately 13 km, 64 vertical levels [13].

#### ***Global climate model (Canada)***

At the Canadian Meteorological Center (CMC), are currently developing the future global forecasting Yin-Yang model. Operational model (Yeh et al. 2002) is a very important medium-term numerical weather prediction tool for the Canadian Meteorological centre (CMC) [14].

#### ***NCAR (USA)***

The joint model of the atmosphere and the ocean, is used for studying of natural variability of climatic system and reactions to changes now. The model contains oceanic and atmospheric models, biophysical processes of a land surface, model of a hydrology of the soil and model of dynamics of sea ice [15].

A three-dimensional global atmospheric model developed by NCAR for the weather and climate research community. The climatic model of the atmosphere is an integral part of the joint model of the Earth system CESM1 [16]. The model includes 4 different blocks of solving the atmospheric dynamics equations: finite-volume Eulerian horizontally, Lagrangian vertically on the "ordinary" latitude-longitude grid; block using spectral elements on the cubic sphere, as well as spectral Eulerian and finite-difference semi-Lagrangian developed many years ago.

The model includes a block of atmospheric chemistry, taking into account the basic processes associated with small gas components and aerosols, a block description of microphysical processes in the clouds [8].

***ECMWF (UK) in cooperation with Meteo France***

The European centre for medium-range weather forecasts (ECMWF) model is the undisputed leader among the global medium-term weather forecast models. This model is a semi-Lagrangian spectral model with a two-layer semi-implicit time integration scheme [17].

Currently, this model has a resolution of TL1279 (about 16 km), vertical – 137 level [18].

***INMCM3.0 (Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Russia)***

The joint model of the General circulation of the atmosphere is part of the international project CMIP3. The resolution in the atmospheric block is 5 in longitude, 4 in latitude, 21 in vertical level  $\sigma$ -coordinates. The model includes parametrization of radiation processes, convection and condensation processes in the soil and on the surface of the land, gravitational wave resistance [19].

***PLAV (Russia, hydrometeorological center)***

Computationally efficient semi-Lagrangian global finite-difference model of total atmospheric circulation. The version of the semi-Lagrangian model of the atmosphere WITH a resolution of 0.9 degrees longitude, 0.72 ° latitude and 28 levels

vertically successfully passed operational tests and implemented in the Hydrometeorological center of Russia [20].

Existing models of long-term climate forecasting do not provide a clear forecast even for the first century. Thus, according to estimates from climate models referenced by the IPCC at the UN, the Earth's surface temperature could rise by both 1.1 and 6.4 °C.

Climate models are the main tools for the study of climate change responses at various impact predictions on a seasonal and decadal time scales and for making projections of future climate in the next century and beyond.

### **1.8. The disadvantage of global models**

Global models of the General circulation of the atmosphere are used to study climate, the influence of external factors on climate change. Nevertheless, they have a number of limitations of their applicability, which are associated with the lack of resolution of regional features.

Models do not predict climate change, they only describe the ensemble of possible States of the climate system when exposed to anthropogenic and natural factors on a given scenario. The values of metrological values calculated by models can be used only in a generalized form, for example, in the form of time-averaged or space-based values of climatic parameters [4].

There are inaccuracies in the description of the regional climate. To evaluate the accuracy of models in a geographic region, a comparison of the actual and model values at individual points in the region is necessary. As a result of comparison of values, the average temperature error for all models is from – 4.5 to + 1.5 °C [21].

The greatest underestimation of temperature of models is necessary for a cold season. At the same time, the greatest variation between model calculations is noted. Noticeable systematic errors are observed in the North-West of Russia, but to the East this error decreases. In summer, the average temperature deviation from the observations is significantly less [7].

The joint model of the atmosphere and ocean is characterized, first of all, by the error of reproduction of TVET (ocean surface temperature). In most areas, the error is 2 degrees, and in the North-West Atlantic, the error reaches 6 degrees [21].

In addition, the temperate latitudes of the southern ocean and the tropics of the Eastern Pacific are over-heated by 4 degrees, while the Equatorial Pacific is under-measured by 2 degrees. These errors are common to most modern models [22].

One approach to overcome these difficulties is to model the regional climate. Spatial resolution in regional climate models is increased so that it is possible to clearly describe regional phenomena that are due to the underlying surface features.

Surface temperature is a fairly reliably observed climate parameter that characterizes the regional features of the energy balance and large-scale anomalies of the climate system. Various studies of changes in air temperature data based on the analysis of meteorological station network data are carried out in Russia and abroad. Due to the differences in the data analysis methods used, heterogeneity of time series, uneven spatial and temporal distribution, the influence of the "heat Islands", etc. data archives can vary between different study groups, sometimes significantly.

Another possibility to evaluate the model reproduction of climatic characteristics is provided by reanalysis data, which are used by MGCAO in the weather forecast mode with assimilation of observations. Reanalysis data allow the conversion of irregular observations in time and space into grid-like global fields that span several decades. Since some reanalysis data are not assimilated, despite the availability of relevant observations, there are doubts about their reliability. Therefore, these variables are calculated with the errors that are inherent in model calculations. The quality of reanalysis data for assimilated variables depends on the density of the observed network. Despite a number of limitations, reanalysis data are dynamically and thermodynamically consistent and useful sources.

Archives of surface air temperature data obtained by means of reanalysis models.

Era-Interim archive was obtained by means of model reanalysis in the European weather forecast center. The archive contains weather data with a 12-hour time resolution in the grid nodes T255 (about 80 x 80 km) for the period from 1979 to the present.

Archive data reanalysis NCEP2, made in the USA, uses the net 2.5 x 2.5 and covers the period from 1979 to 2014. the main difference from the ECF in the use of satellite observations of temperature in addition to observations at stations.

The estimation of accuracy of these archives for the territory of Russia is given in work [23].

In this work, we have evaluated the fidelity with the following characteristics: mean annual and seasonal temperature; sum of temperature and vegetation of the biologically active periods; deficiency of heat; seasonal and annual precipitation.

Different grouping methods are used to analyze the accumulated natural and climatic data.

### **1.9. Methods of group –work with reanalysis data**

Classical methods of analysis of multidimensional geophysical data include: principal components method, factor analysis, correlation analysis, discriminant analysis, cluster analysis, multidimensional scaling. The choice of methods depends on the purpose of the study and the nature of the data.

Spatial-temporal relationships between different fields of meteorological parameters are studied using correlation analysis. In climatology, for example, for seasonal prediction, El niño oscillation structure analysis uses canonical correlation analysis in linear and nonlinear forms.

Among the methods of multidimensional statistics clustering is most often used for data processing in many climatic studies. For example, hierarchical clustering was used to solve the cloud forecasting problem in [24]. Also in the works [25], for the solution of a task was used to solve the problem of climatic zoning. Based on data from 35 weather stations for 22 climate indicators.

Clustering by the k-means method was used to solve the problem of spatial decomposition of meteorological fields of the Northern hemisphere [26].

Global agro-climatic data were used for the study, where up to 14 observed and calculated parameters were specified for each weather station in the world.

Thus, clustering is a method used intensively in the analysis of natural and climatic data.

Climatic zoning is aimed at the analysis of the laws of formation of different types of climate in the global climate system. The scientific and practical significance of any climatic structuring is indisputable.

In addition to temperature and humidity characteristics, the predominance over the territory of the corresponding types of air masses by seasons and the nature of the underlying surface are also taken into account in the allocation of climatic regions. For example, in one of the most used climate classification V. p. Köppen classes are identified on the basis of quantitative criteria of heat-humidity regime taking into account the landscape of land zones. Climatic zones according to B. p. Alisov are determined depending on the types of air masses and their circulation. Modern classifications offer more mathematical approaches, which are based on taking into account the contribution of each influencing factor, on the application of hierarchical cluster analysis of temperature, precipitation, etc. [27].

#### **1.10. Cluster analysis**

It follows from the above that clustering of data is one of the most common methods of solving the problem of climatic zoning.

First of all, it should be noted what is the difference between classification and clustering. Clustering splits a set of objects into groups, which are determined only by the result. Classification refers each object to one of the predefined groups [28].

Cluster analysis is a multidimensional statistical procedure that collects data that contains information about a selection of objects and then orders the objects into relatively homogeneous groups (clusters). Clusters – a group of elements characterized



by a common property, the main purpose of cluster analysis-finding groups of similar objects in the sample [25].

Statistical and structural characteristics are calculated for each cluster. Structural parameters allow quantitative comparison of different clusters with each other. The result of cluster analysis is a set of clusters that have similar behavior to the parameter under study.

There are many more varieties of numerical data clustering methods that have both advantages and disadvantages. However, most of them have a common feature – the need to set the number of clusters before clustering, which significantly complicates the processing of "raw" data and reduces the possibility of clustering. Therefore, to obtain objective information, you need methods that do not need to specify the number of clusters. This possibility is provided by hierarchical methods (agglomerative and divisive), and from non – hierarchical methods-the SLOPE algorithm. A feature of hierarchical algorithms is to provide a relatively high quality clustering. This does not require pre-setting the number of clusters.

The presence of subjective influence of the researcher on the performance of each stage of cluster analysis determines the ambiguity of the result. Comparison with similar results is required, but in a different area of indicators, and comparison with the results of the analysis, but with other tools.